

DEISE REGINA LAZZAROTTO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE BASE CARTOGRÁFICA POR
MEIO DE INDICADORES E SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY**

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Doutor em Ciências
Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em
Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da
Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientadores:

Prof.^a Dr.^a Claudia Robbi Sluter

Prof. Dr. Quintino Dalmolin

**CURITIBA
2005**

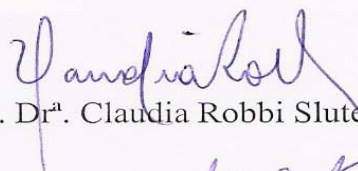
“AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE BASE CARTOGRÁFICA POR MEIO DE INDICADORES E SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY”

POR

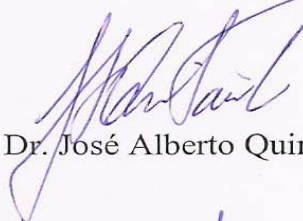
DEISE REGINA LAZZAROTO

Tese nº 038 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 30 de março de 2005.



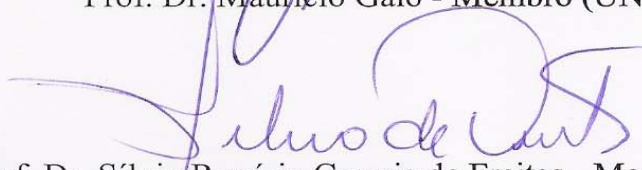
Prof.ª. Dr.ª. Claudia Robbi Sluter - Orientadora e Presidente (UFPR)



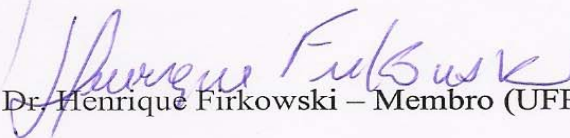
Prof. Dr. José Alberto Quintanilha – Membro (USP)



Prof. Dr. Mauricio Galo - Membro (UNESP)



Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas - Membro (UFPR)



Prof. Dr. Henrique Firkowski – Membro (UFPR)



Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno - Membro (UFPR)

HOMENAGEM

“Então o Senhor te dará chuva sobre a tua semente, com que semeares a terra, como também pão da novidade da terra, pois esta será fértil e cheia.” (Isaías 30:23)

*“Direi do Senhor: Ele é o meu refúgio e a minha fortaleza,
o meu Deus, em quem confio.” (Salmos 91:2)*

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais Algacir e Antonia, e à minha irmã Crisleide, pelo infatigável incentivo, apoio, dedicação, carinho e, principalmente, pelo amor incondicional que sempre me foi dado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e saúde, a Jesus, pela luz e paz, e ao Espírito Santo, pelo direcionamento em todas as soluções.

A minha família, pelo amor, carinho e apoio constantes.

Aos meus orientadores, Prof.^a Dr.^a Claudia Robbi Sluter e Prof. Dr. Quintino Dalmolin, pelas críticas e sugestões, mas principalmente por terem sempre acreditado no meu trabalho.

A COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, e a SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, que disponibilizaram os dados que foram utilizados neste trabalho.

A ESTEIO Engenharia e aerolevantamentos S.A. e ao IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, por terem colaborado com as informações solicitadas.

Ao Prof. Silvio Rogério Correia de Freitas, Prof. José Bittencourt de Andrade, Prof. Jorge Centeno, e Prof. Alzir Felipe Buffara Antunes, pelas valiosas sugestões.

A CAPES – Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior, pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

A UFPR – Universidade Federal do Paraná e ao curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela estrutura e ensino.

A todos meus colegas e professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

Especial agradecimento ao colega Marcelo Maranhão (IBGE, Rio de Janeiro), pelo importante material e ajuda que me ofereceu.

Ao meu grupo familiar “Jeová Jireh”, pelo apoio e orações.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE SIGLAS.....	xiii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	5
1.4 ESTRUTURA DA TESE.....	6
2 INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS.....	7
2.1 QUALIDADE DAS INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS.....	7
2.2 BASE CARTOGRÁFICA.....	15
2.3 GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA.....	16
3 METADADOS.....	18
3.1 QUESTÕES RELATIVAS À TRANSFERÊNCIA DE DADOS.....	19
3.2 ESPECIFICAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DOS DADOS ESPACIAIS.....	22
3.3 PADRÕES PARA OS DADOS ESPACIAIS NO MUNDO.....	23
3.3.1 Padrões SDTS – Spatial Data Transfer Standard.....	24
3.3.2 Padrão CSDGM – Content Standards for Digital Geospatial Metadata.....	25
3.3.3 SAIF – Spatial Archive and Interchange Format.....	26
3.3.4 CEN TC287 – Committee European des Normalisation, Technic Committee 287.....	27
3.3.5 ANZLIC – Australia New Zealand Land Information Council.....	27
3.3.6 GCMD – Global Change Master Directory.....	28
3.3.7 Dublin Core.....	28
4 ASPECTOS DE BUSCA DO CONHECIMENTO CARTOGRÁFICO.....	29
4.1 VISÃO HOLÍSTICA DA CARTOGRAFIA.....	29
4.2 BUSCA POR CONHECIMENTO E MODELOS.....	30
5 INDICADORES E LÓGICA FUZZY.....	35
5.1 INDICADORES.....	35
5.2 LÓGICA FUZZY.....	38
5.2.1 Alguns Conceitos da Teoria Fuzzy.....	43
5.2.2 A Teoria de Conjuntos Fuzzy e a Teoria de Probabilidade.....	44
5.2.3 Medida e Operações Fuzzy.....	46
5.2.4 Funções Fuzzy.....	49
5.2.5 Variáveis Lingüísticas.....	51
5.2.6 Regras Fuzzy.....	53
5.2.7 Sistema de Inferência Fuzzy.....	54
5.2.8 Modelo Lingüístico Tipo Mamdani.....	57
5.2.9 Método de Defuzzificação.....	59
6 MODELO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO.....	62
6.1 ASPECTOS SOBRE A IDENTIFICAÇÃO E VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE.....	63
6.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA BASE CARTOGRÁFICA.....	64
6.3 MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO.....	65
6.3.1 Classificação e Significado dos Termos Empregados no Desenvolvimento do Modelo.....	68
6.3.2 Propriedades dos Indicadores Aplicado aos Parâmetros do Modelo.....	70

7 QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO	72
7.1 ESTABELECIMENTO DE INTERVALOS DE CONJUNTOS	72
7.2 DETERMINAÇÃO DOS CONJUNTOS FUZZY	76
7.3 INTERPRETAÇÃO DA FIGURA REPRESENTATIVA DO SISTEMA DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	79
7.4 INDICADOR DE ATUALIDADE CARTOGRÁFICA	82
7.4.1 Determinação da Variável de Desatualização Absoluta (DA)	83
7.4.1.1 Determinação do Nível Máximo (LM) de Desatualização Absoluta (DA)	84
7.4.1.2 Classificação da Desatualização Absoluta (DA)	90
7.4.2 Indicador da Idade Tecnológica – IT	91
7.4.2.1 Classificação da Distribuição da Base Cartográfica em Meio Digital (DD)	92
7.4.2.2 Sistemas Geodésicos de Referência – SGR	94
7.4.2.3 Sistemas Geodésicos Brasileiros – SGB	95
7.4.2.4 Rede Horizontal	96
7.4.2.5 SIRGAS	97
7.4.2.6 Classificação da Variável Compatibilidade com o SGR Atual (CS)	98
7.4.2.7 Rede Altimétrica	102
7.4.2.8 Classificação da Variável Compatibilidade com o Geóide Global (CGG)	104
7.4.2.9 Classificação do Indicador da Idade Tecnológica (IT)	107
7.4.2.10 Base de Regras para o Indicador IT	108
7.4.2.11 Processamento das Operações Fuzzy para a Determinação do Indicador IT	112
7.4.3 Indicador da Velocidade de Desatualização (VD)	116
7.4.4 Parâmetro Escala (Es)	116
7.4.5 Indicador dos Fatores que Modificam o Meio – FMM	118
7.4.5.1 Crescimento Populacional (CP)	119
7.4.5.2 Projeção de Crescimento Populacional (PCP)	121
7.4.5.3 Consumo de Energia Elétrica (CEE)	127
7.4.5.4 Classificação do Indicador Fatores que Modificam o Meio – FMM	132
7.4.5.5 Base de Regras para o Indicador FMM	134
7.4.5.6 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador FMM	136
7.4.6 Conjuntos Fuzzy para o Indicador de Velocidade de Desatualização – VD	140
7.4.6.1 Base de regras para o Indicador Velocidade de Desatualização – VD	141
7.4.6.2 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador VD	142
7.4.7 Indicador de Atualidade Cartográfica – AC	145
7.4.7.1 Base de regras para o Indicador Atualidade Cartográfica – AC	146
7.4.7.2 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador ‘AC’	151
7.5 INDICADOR DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA – GC	154
7.5.1 Generalização Cartográfica Planimétrica – GC-P	156
7.5.2 Generalização do Elemento Gráfico	162
7.5.3 Generalização Cartográfica Altimétrica – GC-A	164
7.5.4 Indicador da Generalização Cartográfica – GC	167
7.5.5 Exemplo na Determinação dos Valores de GC-P e GC-A	168
7.5.6 Base de Regras para o Indicador Generalização Cartográfica – GC	169
7.5.7 Processamento das Operações Fuzzy para a Determinação do Indicador GC	171
7.6 INDICADOR DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO – QM	174
7.6.1 Classificação do Indicador da Qualidade de Mapeamento – QM	174
7.6.2 Base de regra para o Indicador Qualidade de Mapeamento	176
7.6.3 Processamento das Operações Fuzzy para a Determinação do Indicador QM	177
7.7 COMENTÁRIO DOS RESULTADOS OBTIDOS	180
8 APLICAÇÃO	185
8.1 OBTENÇÃO DOS DADOS	187
8.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS	189
8.2.1 Classificação da Desatualização Absoluta (DA)	190
8.2.1.1 Estabelecimento de LM	190
8.2.1.2 Classificação da ‘DA’	191

8.2.2	Cálculo do Indicador da Idade Tecnológica (IT)	192
8.2.3	Cálculo do Indicador de Fatores que Modificam o Meio (FMM)	193
8.2.4	Cálculo do Indicador de Velocidade de Desatualização (VD)	194
8.2.5	Cálculo do Indicador de Atualidade Cartográfica (AC)	195
8.2.6	Determinação de Generalização Cartográfica (GC)	196
8.2.6.1	Classificação do Indicador de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P)	197
8.2.6.2	Classificação do Indicador de Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A)	198
8.2.6.3	Cálculo do Indicador de Generalização Cartográfica (GC)	198
8.2.7	Cálculo do Indicador da Qualidade de Mapeamento (QM)	199
9	ANÁLISE DOS RESULTADOS	202
9.1	O MODELO PROPOSTO	202
9.1.1	Comparação entre os Parâmetros de Avaliação dos Padrões SDTS e do Modelo Proposto	203
9.2	CLASSIFICAÇÃO DOS INDICADORES	206
9.2.1	Considerações Relativas ao Indicador de Atualidade Cartográfica (AC)	208
9.2.2	Considerações Relativas ao Indicador de Generalização Cartográfica (GC)	210
9.3	QUANTITATIVOS OBTIDOS PELOS INDICADORES	211
10	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	212
10.1	CONCLUSÕES	212
10.2	RECOMENDAÇÕES	215
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	217
	REFERÊNCIAS CONSULTADAS	221
	ANEXO 1	224
	ANEXO 2	230

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	VALORES DO PEC E DO EP (DECRETO LEI No.89.817	14
TABELA 3.1	PADRÕES DE METADADOS GEOESPACIAIS	24
TABELA 7.1	LIMITES DOS CONJUNTOS FUZZY BASEADOS NA CURVA NORMAL	76
TABELA 7.2	EXEMPLO DE DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA)	84
TABELA 7.3	VALORES DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA): INICIAL (P_i), E MÁXIMO (LM_i)	86
TABELA 7.4	DETERMINAÇÃO DO LIMITE MÁXIMO (LM) DE DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA	88
TABELA 7.5	CLASSIFICAÇÃO DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA)	90
TABELA 7.6	CLASSIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE EM MEIO DIGITAL (DD).....	93
TABELA 7.7	CLASSIFICAÇÃO DOS SGR_s PLANIMÉTRICOS QUANTO À COMPATIBILIDADE COM O SIRGAS (CS).....	99
TABELA 7.8	CLASSIFICAÇÃO DA VARIÁVEL COMPATIBILIDADE COM OS SGR_s ATUAIS (CS).....	101
TABELA 7.9	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À COMPATIBILIDADE DOS REFERENCIAIS ALTIMÉTRICOS ANTIGOS E DA RV-RGB COM O GEÓIDE GLOBAL	104
TABELA 7.10	CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR ‘IDADE TECNOLÓGICA’ (IT).....	107
TABELA 7.11	INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘CS’ E ‘CGG’	109
TABELA 7.12	INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘CS + CGG’ E ‘DD’	109
TABELA 7.13	BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR ‘IT’	110
TABELA 7.14	CLASSIFICAÇÃO DO PARÂMETRO ESCALA ‘ES’	117
TABELA 7.15	POPULAÇÃO E RESPECTIVAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL	121
TABELA 7.16	POPULAÇÃO PROJETADA E RESPECTIVA TAXA MÉDIA GEOMÉTRICA DE CRESCIMENTO ANUAL PARA O PARANÁ E REGIÃO SUL	123
TABELA 7.17	MUNICÍPIOS SEGUNDO A CLASSE DE CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO TOTAL (2000)	124
TABELA 7.18	CLASSIFICAÇÃO PARA AS TAXAS DO CRESCIMENTO POPULACIONAL E PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL (CP, PCP).....	125
TABELA 7.19	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM 1980, 1993 A 2002 (GWH)	128
TABELA 7.20	COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	130
TABELA 7.21	CLASSIFICAÇÃO PARA A TAXA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (CEE) NAS REGIÕES URBANAS.....	131
TABELA 7.22	CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO INDICADOR ‘FATORES QUE MODIFICAM O MEIO’ (FMM)	132
TABELA 7.23	INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘CP’ E ‘PCP’	134
TABELA 7.24	INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘RCP’ E ‘CEE’	135
TABELA 7.25	BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR ‘FMM’	135
TABELA 7.26	CLASSIFICAÇÃO DA VELOCIDADE DE DESATUALIZAÇÃO ‘VD’	140
TABELA 7.27	INTERSEÇÃO DOS VALORES DE: ‘ES’ E ‘FMM’	141
TABELA 7.28	BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR VD	142
TABELA 7.29	CLASSIFICAÇÃO DA ATUALIDADE CARTOGRÁFICA ‘AC’	145
TABELA 7.30	INTERSEÇÃO DOS VALORES DE: ‘DA’ E ‘IT’	148
TABELA 7.31	INTERSEÇÃO DOS VALORES DE: ‘AI’ E ‘VD’	148
TABELA 7.32	BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR ‘AC’	148
TABELA 7.33	NÚMERO DE ELEMENTOS A SEREM REPRESENTADOS PELA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE ACORDO COM O FATOR DE REDUÇÃO DE ESCALA.....	159
TABELA 7.34	CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PLANIMÉTRICA (GC-P)	160
TABELA 7.35	GENERALIZAÇÃO DO ELEMENTO GRÁFICO.....	163

TABELA 7.36	EQUIDISTÂNCIA DAS CN SEGUNDO A ESCALA DE REPRESENTAÇÃO	165
TABELA 7.37	CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ALTIMÉTRICA.....	166
TABELA 7.38	CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA – GC	167
TABELA 7.39	EXEMPLO: GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE CINCO NÍVEIS DE INFORMAÇÃO DA ESCALA 1:2.000 PARA A ESCALA 1:10.000	169
TABELA 7.40	INTERSEÇÃO DOS INDICADORES ‘GC-P’ E ‘GC-A’	170
TABELA 7.41	BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ‘AC’	170
TABELA 7.42	CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO ‘QM’	174
TABELA 7.43	INTERSEÇÃO DOS INDICADORES ‘AC’ E ‘GC’	177
TABELA 7.44	BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR QUALIDADE DE MAPEAMENTO ‘QM’	177
TABELA 7.45	RESULTADOS ENCONTRADOS	183
TABELA 8.1	DADOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA.....	190
TABELA 8.2	DETERMINAÇÃO DO VALOR DE LM_p	190
TABELA 8.3	CLASSIFICAÇÃO DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA)	192
TABELA 8.4	CLASSIFICAÇÃO DA ESCALA (ES)	195
TABELA 8.5	CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PLANIMÉTRICA – GC-P	198
TABELA 8.6	CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO ALTIMÉTRICA – GC-A.....	198
TABELA 8.7	RESULTADOS OBTIDOS.....	200
TABELA 9.1	PROPOSTA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE DADOS ESPACIAIS NOS PADRÕES SDTS E MODELO PROPOSTO	204
TABELA 9.2	RESULTADOS OBTIDOS NOS CAPÍTULOS 7 E 8 PARA OS INDICADORES DO MODELO	211

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 5.1	DIAGRAMA DE CONSTRUÇÃO DE INDICADORES QUANTITATIVOS	36
FIGURA 5.2	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DAS PROPOSIÇÕES FUZZY E BOOLEANA.....	40
FIGURA 5.3	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA RELATIVA À IDADE.....	41
FIGURA 5.4	CONJUNTOS FUZZY: (A) CONVEXO, (B) NÃO CONVEXO	45
FIGURA 5.5	EXEMPLO DE UNIÃO (A), INTERSEÇÃO (B) E COMPLEMENTO (C) DE CONJUNTOS FUZZY.....	48
FIGURA 5.6	CONJUNTOS FUZZY REPRESENTANDO CRIANÇAS E ADOLESCENTES.....	49
FIGURA 5.7	FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA: (A) LINEARES; (B) GAUSSIANA	50
FIGURA 5.8	EXEMPLO DE VARIÁVEL LINGÜÍSTICA	52
FIGURA 5.9	MÉTODO DE INFERÊNCIA DE MAMDANI.....	59
FIGURA 5.10	MÉTODO DE DEFUZZIFICAÇÃO (MM).....	60
FIGURA 5.11	MÉTODO DE DEFUZZIFICAÇÃO (CA)	61
FIGURA 6.1	CONJUNTO DOS PARÂMETROS QUE COMPÕEM O CONCEITO DE 'QUALIDADE DE MAPEAMENTO'	65
FIGURA 6.2	MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO.....	66
FIGURA 7.1	CURVA NORMAL NO INTERVALO $[\mu, +3\sigma]$	73
FIGURA 7.2	PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DAS CLASSES PARA OS ELEMENTOS DO MODELO.....	75
FIGURA 7.3	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA PARA O ELEMENTO GENÉRICO (X).....	77
FIGURA 7.4	INTERPRETAÇÃO SOBRE A PERTINÊNCIA DE 'X' A UM DETERMINADO CONJUNTO FUZZY.....	82
FIGURA 7.5	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA PARA A DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA 'DA'	91
FIGURA 7.6	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA DISPONIBILIDADE E MEIO DIGITAL 'DD'	93
FIGURA 7.7	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA COMPATIBILIDADE COM O SGR ATUAL 'CS'	102
FIGURA 7.8	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA COMPATIBILIDADE COM A RV-RGB ATUAL 'CGC'	106
FIGURA 7.9	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA IDADE TECNOLÓGICA 'IT'	108
FIGURA 7.10	SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DA VARIÁVEL 'DD' (MATLAB).....	112
FIGURA 7.11	SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DA VARIÁVEL 'CS' (MATLAB).....	113
FIGURA 7.12	SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DA VARIÁVEL 'CGG' (MATLAB).....	113
FIGURA 7.13	SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DO INDICADOR 'IT' (MATLAB).....	113
FIGURA 7.14	RESULTADO DA INTERSEÇÃO DE: DD = 0,88, CS = 5,9, CGG = 3,4, E O DEFUZZIFICADOR 'IT = 0,725'	114
FIGURA 7.15	REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR 'IT = 0,675'	116
FIGURA 7.16	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA ESCALA 'ES'	118
FIGURA 7.17	OS 5.560 MUNICÍPIOS BRASILEIROS DISTRIBUÍDOS SEGUNDO A TAXA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL EM 2000.....	124
FIGURA 7.18	SISTEMA REPRESENTATIVO DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA DAS VARIÁVEIS: CRESCIMENTO POPULACIONAL 'CP' E PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL 'PCP'	127
FIGURA 7.19	CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR.....	128
FIGURA 7.20	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA REGIÕES URBANAS 'CEE'	132
FIGURA 7.21	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DO INDICADOR FATORES QUE MODIFICAM O MEIO 'FMM'	133
FIGURA 7.22	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL 'CP' (MATLAB).....	137
FIGURA 7.23	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL 'PCP' (MATLAB).....	137

FIGURA 7.24	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘CEE’ (MATLAB).....	138
FIGURA 7.25	CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘FMM’ (MATLAB)	138
FIGURA 7.26	RESULTADO DA INTERSEÇÃO: CP=2,11, PCP=1,80 E CEE=4,67, E O DEFUZZIFICADOR ‘FMM=0,711’	139
FIGURA 7.27	REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR ‘FMM=0,711’	139
FIGURA 7.28	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA VELOCIDADE DE DESATUALIZAÇÃO ‘VD’	141
FIGURA 7.29	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘ES’ (MATLAB).....	143
FIGURA 7.30	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘FMM’ (MATLAB)	143
FIGURA 7.31	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘VD’ (MATLAB).....	143
FIGURA 7.32	RESULTADO DA INTERSEÇÃO: ES = 0,49 E FMM = 0,645, E O DEFUZZIFICADOR ‘VD = 0,562’	144
FIGURA 7.33	REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR VD = 0,562	145
FIGURA 7.34	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA ATUALIDADE CARTOGRÁFICA ‘AC’	146
FIGURA 7.35	CONJUNTO FUZZY DA VARIÁVEL ‘DA’ (MATLAB).....	151
FIGURA 7.36	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘IT’ (MATLAB).....	152
FIGURA 7.37	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘VD’ (MATLAB).....	152
FIGURA 7.38	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘AC’ (MATLAB).....	152
FIGURA 7.39	RESULTADO DA INTERSEÇÃO: DA=0,7; IT=0,725; VD=0,526, E O DEFUZZIFICADOR ‘AC = 0,407’ (MATLAB).....	153
FIGURA 7.40	REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR ‘AC=0,407’	154
FIGURA 7.41	REDUÇÃO PLANIMÉTRICA DA ESCALA 1:1.000 PARA A ESCALA 1:5.000.....	156
FIGURA 7.42	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PLANIMÉTRICA ‘GC-P’	161
FIGURA 7.43	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ALTIMÉTRICA ‘GC-A’	167
FIGURA 7.44	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ‘GC’	168
FIGURA 7.45	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘GC-P’ (MATLAB).....	171
FIGURA 7.46	CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘GC-A’ (MATLAB).....	172
FIGURA 7.47	CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘GC’ (MATLAB).....	172
FIGURA 7.48	RESULTADO DA INTERSEÇÃO: GR-P = 0,2523 E GR-A = 0,25, E O DEFUZZIFICADOR ‘GC = 0,37’	173
FIGURA 7.49	REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR ‘GC = 0,37’	173
FIGURA 7.50	SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO ‘QM’	175
FIGURA 7.51	CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘AC’ (MATLAB).....	178
FIGURA 7.52	CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘GC’ (MATLAB).....	178
FIGURA 7.53	CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘QM’ (MATLAB).....	178
FIGURA 7.54	RESULTADO DA INTERSEÇÃO: AC=0,407 E GC=0,37, E O DEFUZZIFICADOR ‘QM=0,423’	179
FIGURA 7.55	REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR ‘QM=0,423’	180
FIGURA 8.1	COORDENADAS DA ÁREA ANALISADA – PARTE CENTRAL DO MUNICÍPIO DE PIRAQUARA PR	189
FIGURA 8.2	CÁLCULO DO INDICADOR DA IDADE TECNOLÓGICA – IT	193
FIGURA 8.3	CÁLCULO DO INDICADOR DOS FATORES QUE MODIFICAM O MEIO (FMM).....	194
FIGURA 8.4	CÁLCULO DO INDICADOR DE VELOCIDADE DE DESATUALIZAÇÃO (VD)	195
FIGURA 8.5	CÁLCULO DO INDICADOR DE ATUALIDADE CARTOGRÁFICA (AC).....	196
FIGURA 8.6	ÁREA AMOSTRADA PARA A GC-P REFERENTE AO NI DE EDIFICAÇÕES.....	197
FIGURA 8.7	CÁLCULO DO INDICADOR DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA (GC)	199
FIGURA 8.8	CÁLCULO DO INDICADOR DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO (QM)	200

LISTA DE SIGLAS

AC	Atualidade Cartográfica
AL	Conjunto de classificação referente à classe ALTA
AN	Conjunto de classificação referente à classe ANTIGA
AT	Conjunto de classificação referente à classe ATUAL
BA	Conjunto de classificação referente à classe BAIXA
CEE	Consumo de Energia Elétrica
CGCP	Classificação da Generalização Cartográfica Planimétrica
CGG	Compatibilidade da rede vertical considerada com o Geóide Global
CN	Curvas de Nível
CP	Crescimento Populacional
CS	Compatibilidade do SGR com Sistema Geodésico de Referência Atual
DA	Desatualização Absoluta
DD	Disponibilidade em Meio Digital
DE	Conjunto de classificação referente à classe DECRESCENTE
e	Eqüidistância gráfica das Curvas de Nível
ES	Escala
FMM	Fatores que Modificam o Meio
Fr	Fator de redução entre escalas de produtos cartográficos
GC	Generalização Cartográfica
GC-A	Generalização Cartográfica Altimétrica
GC-P	Generalização Cartográfica Planimétrica
GR	Conjunto de classificação referente à classe GRANDE
IMP	Conjunto de classificação referente à classe IMPOSSÍVEL
IT	Idade Tecnológica
LM	Limite Máximo de desatualização absoluta dos principais Níveis de Informação
LMs	Limite Máximo de desatualização absoluta dos demais Níveis de Informação
MA	Conjunto de classificação referente à classe MÉDIA ALTA
MB	Conjunto de classificação referente à classe MÉDIA BAIXA
ME	Conjunto de classificação referente à classe MÉDIA
MG	Conjunto de classificação referente à classe MUITO GRANDE
MGCP	Média ponderada da classificação da Generalização Relativa Planimétrica

ML	Conjunto de classificação referente à classe MUITO ALTA
MN	Conjunto de classificação referente à classe MUITO ANTIGA
MP	Conjunto de classificação referente à classe MUITO PEQUENA
NI	Nível de Informação (Feição Cartográfica)
PCP	Projeção do Crescimento Populacional
PE	Conjunto de classificação referente à classe PEQUENA
PNI	Peso atribuído ao NI planimétrico
QA	Conjunto de classificação referente à classe QUASE ATUAL
QM	Qualidade de Mapeamento
TT	Conjunto de classificação referente à classe TOTAL
VD	Velocidade de Desatualização

RESUMO

A função principal dos produtos de mapeamento em fundamentar as decisões de planejamento e execução de projetos torna a questão relativa ao conhecimento da qualidade dos dados espaciais, como de fundamental importância. Os recursos disponibilizados pela informática na Cartografia, os quais propiciam maior eficiência em velocidade, na transferência e nas análises e manipulação dos dados espaciais, tem evidenciado ainda mais a necessidade de se conhecer a qualidade de mapeamento existente nos documentos cartográficos. A ausência de metodologias para avaliação da qualidade de bases cartográficas tem impulsionado parte considerável da comunidade científica cartográfica à novas linhas de investigação. Atualmente, no Brasil, se tem como recurso de avaliação dos produtos cartográficos apenas o Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC que foi elaborado exclusivamente para documentos em meio analógico. Além das limitações do PEC para os dados em meio digital. Este é baseado exclusivamente na acuracidade posicional dos dados espaciais, o que o torna insuficiente para uma avaliação abrangente da qualidade dos documentos cartográficos. A questão relativa à qualidade de produtos ou serviços é complexa, principalmente pelo seu caráter relacionado à eficiência de sua utilização. Assim, quanto maior a diversidade de uso tanto mais complexa é a sua definição. Para o caso da avaliação da qualidade de bases cartográficas, considerou-se nesta pesquisa, a flexibilidade segundo a finalidade de uso. Estabeleceu uma definição de qualidade de mapeamento pela identificação dos parâmetros relevantes na composição do seu conceito de qualidade, que são: Atualização, Generalização, Acuracidade, Precisão e Legibilidade, dos quais, a Atualização e a Generalização é que foram desenvolvidos no presente trabalho. Estes parâmetros foram compostos de acordo com a estrutura de Indicadores quantitativos e submetidos ao Sistema de Inferência Fuzzy, o que possibilitou sua quantificação. Os Indicadores principais: Atualidade Cartográfica (AC) e a Generalização Cartográfica (GC), foram criados a partir da combinação de variáveis, tais como: a Desatualização Absoluta (DA); a Disponibilidade dos dados em meio Digital (DD); a Compatibilidade das coordenadas com o Sistema geodésico de referência atual (CS); Compatibilidade com o Geóide Global (CGG); Crescimento Populacional e sua Projeção (CP e PCP); Consumo de Energia Elétrica (CEE) da região mapeada; Generalização Cartográfica Planimétrica e Altimétrica (GC-P e GC-A); e ainda, do parâmetro Escala (ES). A partir destes dados de entrada foram produzidos os Indicadores Intermediários de Idade Tecnológica (IT), Velocidade de Desatualização (VD), e dos Fatores que Modificam o Meio (FMM). Com estes Indicadores definidos produziu-se o Indicador final, o de Qualidade de Mapeamento (QM). Desta forma, segundo a finalidade de uso, é possível se obter uma avaliação quantitativa da qualidade da Base cartográfica relativamente aos aspectos de atualização e generalização. No entanto, a avaliação final pode ser definida pela combinação de um ou mais dos Indicadores precedentes, dependendo exclusivamente das necessidades do usuário, o que torna conveniente reportar-se a este conceito de qualidade como sendo a ‘qualidade contextual do mapeamento’.

ABSTRACT

The knowledge about spatial data quality is greatly important for those human activities which demand for decisions based on cartographic products. The use of digital technology allows us to transfer and analyze data in a higher speed rate which makes the knowledge about map data quality more evidently important. The lack of methodologies for evaluating the quality of base maps have driven part of scientific community to propose new research topics in order to fill in this lack of knowledge. Today in Brazil the evaluation of base maps are only based on a Map Accuracy Standard called “Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC”. Besides the PEC limitations for analyzing the quality of digital data its specifications are intended only to positional accuracy of the map features. These characteristics and the fact that PEC is out of date for modern technologies make it not sufficient and not efficient for the analysis of every important characteristic of cartographic documents related to their quality. The evaluation of the quality of cartographic documents is a complex task which includes the difficult analysis about the efficient of their use. The more the diversity of the maps possible uses the more complex the determination of their quality. Therefore, the proposed methodology takes into consideration every base map characteristics related to its quality including the maps user needs. The base map quality is established by the identification of parameters that must be included in the quality definition. According to this research work results these parameters are: map updating, map generalization, map accuracy and precision and map legibility. From the analysis of these parameters it is possible to determine the Map Quality Indicator. In order to verify the proposed methodology two parameters were established and evaluated in this doctorate thesis which are: map updating and map generalization. These parameters are quantitative indicators and evaluated by the Fuzzy Inference Systems based on some map characteristics defined as variables, such as, “absolute out-of-date”, “availability of digital data”, “compatibility to the most recent geodetic reference system”, “population grow” and “prediction for population based on population grow rate”, “energy consuming” of the mapped region, planimetric and altimetric generalization, and map scale. These parameters are input data in the methodology for map quality evaluation which demands for some intermediate analysis related to “technological age”, “out-of-date rate” and “human factors that change the region”. According to the achieved results it is possible to define the base map quality based on quantitative analysis related to map updating and generalization because the base map evaluation depends on the user needs. Different user needs define different map use context. Therefore, the base map quality can be established from any number of those parameters described above based on the intended use for the cartographic documents. Based on these results the base map quality proposed in this thesis is defined as “contextual base map quality”.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O planejamento e a realização de serviços que envolvem questões referentes à localização geográfica dependem de uma base cartográfica. A função da base cartográfica é o suporte para as tarefas que se desenvolvem utilizando dados espaciais. Assim, o conhecimento da qualidade desta base é de fundamental importância para o planejamento da ocupação do espaço. Os recursos tecnológicos disponíveis à Cartografia têm viabilizado avanços consideravelmente importantes, através, principalmente, dos softwares que permitem velocidade na obtenção de dados, na troca de informações espaciais e em sofisticadas análises dos fenômenos espaciais. Os recursos tecnológicos trazem inúmeros benefícios e com eles novas necessidades. A mudança do meio físico, analógico para o digital, nas apresentações dos dados espaciais tornou ainda mais crítica a questão relativa à confiabilidade destes dados. Uma vez que os processamentos para análises de fenômenos espaciais tornam-se cada vez mais eficientes, aumenta a exigência por confiabilidade nos dados que dão sustentação a estas análises. No entanto, observa-se que os processos para tornar conhecido o grau de confiabilidade nos dados espaciais não cresceram na mesma proporção do desenvolvimento de processos para as análises, ocasionando assim, a necessidade de pesquisas específicas sobre a avaliação da qualidade dos dados espaciais.

Para se avaliar a qualidade de dados espaciais tem-se atualmente os padrões de metadados, ou seja, informações padronizadas referentes à armazenagem, qualidade e disponibilidade dos dados espaciais, e ainda os padrões referentes a acuracidade posicional dos dados espaciais. No Brasil tem-se considerado apenas o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC (decreto lei n.º 89.817). Este, apesar de ser um valioso elemento de classificação, reporta-se somente à exatidão posicional das informações

mapeadas, devendo, ainda, ser adaptado ao contexto digital. Certamente, estes fatos fazem concluir que o PEC não é suficiente para a determinação da qualidade do produto em sua totalidade. Pois, por qualidade de mapeamento se entende a consideração de um conjunto de parâmetros, onde a acuracidade é apenas um dos elementos deste conjunto. Diversos outros parâmetros podem ser agregados a este conjunto. Os padrões de metadados possuem importante contribuição no registro e manutenção da qualidade existente dos dados espaciais, porém, não quantificam a qualidade dos dados.

Uma das questões de maior dificuldade na avaliação de produtos cartográficos é a referente à sua qualidade. Porém, a consideração da qualidade das informações espaciais é de fundamental importância em todo o processo de mapeamento. Assim, a dificuldade de avaliação da qualidade de mapeamento no produto final está associada principalmente ao conhecimento da qualidade das informações manipuladas em cada item envolvido no processo de produção do mapa.

O processo de mapeamento é composto por fases como: projeto de mapeamento; levantamento de campo; aerofotogrametria; programas computacionais para cálculos de ajustamento, aerotriangulação, conversão de coordenadas ao sistema de projeção cartográfica; restituição; edição; reambulação; verificação; impressão; dentre várias outras. Em todas as fases se requer considerável cuidado para a preservação da autenticidade e exatidão das informações produzidas ou reproduzidas e que irão compor o produto final ao qual se estabelecerá um determinado nível de qualidade. Porém, o resultado desejado quanto à qualidade nem sempre é alcançado. O nível de qualidade alcançado, normalmente, é de difícil determinação, sendo necessária a realização de testes específicos à cada uma das fases de construção do produto cartográfico e a sua devida documentação de forma padronizada. As técnicas desenvolvidas nas ciências relativas às informações cartográficas ainda não atingiram o estágio de produção de metadados capazes de fornecer valores quantitativos referentes à qualidade dos dados espaciais.

É desejável identificar parâmetros relativos à qualidade de mapeamento tal

que se possa quantificá-los, e com isto, modelar os procedimentos para avaliação da qualidade de bases cartográficas. O conhecimento quantitativo destes parâmetros possibilita a automatização de processos verificadores dos níveis de qualidade de mapeamento. Estes processos se automatizados podem contribuir significativamente tanto para o uso mais adequado das informações espaciais já existentes, como também para a criação de novas informações espaciais com o respectivo conhecimento da qualidade.

Elementos que compõem a base cartográfica devem ser de fácil utilização e possuírem clareza na comunicação espacial pretendida. A questão referente à facilidade de uso já tem sido, em grande parte, resolvida através dos meios da informática. Os softwares destinados à Cartografia permitem facilidades na utilização das informações espaciais, como por exemplo, a separação por classes das feições representadas. Esta possibilidade permite ao usuário selecionar livremente as classes de feições necessárias e suficientes para a realização de suas tarefas. Porém, as questões referentes à clareza de comunicação cartográfica, ainda não atendem completamente todas as necessidades. O mapa, ou qualquer outro documento cartográfico será considerado como de qualidade também pela sua eficiência em comunicar o que se pretendeu. Na comunicação cartográfica é necessário envolver, além da compreensão das feições representadas e de seus respectivos relacionamentos, também o conhecimento do grau de confiabilidade e precisão que estão implícitos na representação destes dados. Sem conhecer o conjunto dos atributos referentes à qualidade, o usuário terá dificuldades em aplicar devidamente o produto cartográfico às suas atividades. Isso induz a necessidade de mensuração efetiva dos atributos de qualidade destes produtos, tal que se alcance confiança nesta avaliação.

A necessidade de métodos avaliadores da qualidade de mapeamento é hoje, alvo de investigação por parte expressiva da comunidade científica da Cartografia. Segundo BURITY & SÁ (2002), o Comitê Executivo da *International Cartographic Association* (ICA), em encontro realizado em Bournemouth U.K, em 1991, autorizou a criação da *Commission on Spatial Data Quality* sob a direção do Dr. Joel L. Morrison.

Um dos termos de referência aprovado para este Comitê é “desenvolver uma metodologia para testar a qualidade dos dados espaciais”, dentre outras que abordam o desenvolvimento de documentos com critérios de qualidade, padronização dos dados, e a avaliação da qualidade dos dados espaciais em meio digital (GUPTILL & MORRISON, 1995, Preface).

A questão de como quantificar a qualidade de bases cartográficas conduziu este trabalho na busca dos parâmetros relevantes à composição do conceito de qualidade de mapeamento, de meios de quantificação dos parâmetros, e por fim, de uma metodologia para avaliar a qualidade de documentos cartográficos através de um modelo baseado em Indicadores e lógica Fuzzy. Os Indicadores são estabelecidos sob considerações do usuário final. Este fato dá ao modelo a possibilidade de avaliar a qualidade do documento cartográfico dentro do contexto de suas aplicações, ficando assim estabelecido o conceito de ‘qualidade contextual’.

1.2 OBJETIVOS

No contexto referente ao usuário de produtos cartográficos se reconhecem as dificuldades existentes no processo de identificar adequadamente a qualidade das informações contidas no documento cartográfico bem como as dificuldades em se agregar informações cartográficas compatíveis entre si quando provenientes de fontes e datas diferentes. A busca por soluções a estas questões determinou o objetivo principal deste trabalho, ou seja, desenvolver uma metodologia para avaliar quantitativamente a qualidade de bases cartográficas.

Os objetivos específicos, necessários à obtenção do objetivo geral foram:

- a) identificar os aspectos relevantes do conceito de qualidade da base cartográfica;
- b) quantificar os parâmetros referentes à qualidade da base cartográfica;
- c) estabelecer um modelo para a avaliação da qualidade da base cartográfica.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Os produtos de mapeamento não possuem um fim em si mesmos. Normalmente são utilizados como meios para se alcançar objetivos que independem da própria Cartografia. O mapeamento, de um modo geral, é utilizado como apoio para a tomada de decisões sobre ações desenvolvidas na superfície terrestre. Assim, a utilização de um produto cartográfico como base para o desenvolvimento de atividades do meio, não deve permitir proposições errôneas sobre as atividades que serão desenvolvidas a partir dele. Assim, é de significativa relevância o conhecimento da base utilizada, principalmente no que se refere aos seus atributos de qualidade, para que seu emprego possa ser apropriado.

Principalmente a necessidade de objetividade no conceito de qualidade dos produtos cartográficos é que tem justificado este trabalho. Intuitivamente tem-se uma definição de que o melhor mapa seria “aquele que representa a superfície terrestre de forma mais completa e fiel possível”. No entanto nem sempre esse pressuposto é válido. O melhor mapa é aquele que contém a representação das feições cartográficas que satisfazem as necessidades de aplicação daquele mapa. Observa-se ainda que nesta definição intuitiva existem considerações subjetivas, e que a própria palavra “possível”, admite diferentes interpretações. A subjetividade envolvida nesta questão torna-a vaga o suficiente para justificar a busca de objetividade na definição do conceito de qualidade dos produtos cartográficos.

Como se pode classificar os produtos cartográficos quanto à sua qualidade? Como se pode selecionar produtos cartográficos adequados a uma determinada aplicação? Ao se utilizar um mapa como base cartográfica, como saber quais os níveis apropriados de qualidade dos parâmetros de mapeamento a serem adotados nas tarefas subsequentes, tal que o trabalho final obtenha uniformidade e coerência entre as informações técnicas representadas? Tem-se apenas o PEC que diz respeito à acuracidade posicional dos elementos representados, mas, a ausência de metodologias e padrões nos processos de mapeamento objetivando o conhecimento dos atributos aos

parâmetros de qualidade tem prejudicado ações relevantes nas atividades de tomada de decisão em Cartografia. Os Metadados são os veículos necessários para a padronização requerida no processo de conhecimento da qualidade do mapeamento, porém, não quantificam a qualidade, sendo assim, necessário o estabelecimento de metodologia específica para este fim.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Nos capítulos 2, 3, 4 e 5 apresentam-se uma revisão conceitual sobre os assuntos abordados para o desenvolvimento deste trabalho como as questões relativas as informações cartográficas, metadados, aspectos de busca do conhecimento cartográfico, Indicadores, e lógica Fuzzy.

No capítulo 6 aborda-se a metodologia empregada para o estabelecimento do modelo para a quantificação da qualidade contextual de bases cartográficas por meio de Indicadores e lógica Fuzzy.

Nos capítulos 7 e 8 desenvolve-se a metodologia proposta. No capítulo 7 desenvolve-se a teoria do modelo proposto para a quantificação da qualidade de mapeamento, e a metodologia respectiva á este desenvolvimento. No capítulo 8 apresenta-se uma aplicação do modelo desenvolvido.

No capítulo 9 analisam-se os resultados, e no capítulo 10 se apresentam as conclusões do desenvolvimento e as recomendações para trabalhos futuros.

2 INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

2.1 QUALIDADE DAS INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

Segundo MONTGOMERY (2004), “qualidade significa adequação para o uso”. As decisões por produtos ou serviços competitivos entre si fundamentam-se principalmente na qualidade. Portanto, os procedimentos de compreensão e de melhora da qualidade são aspectos fundamentais para o sucesso de um negócio. A qualidade de um produto pode ser avaliada de diversas maneiras. GARVIN¹ citado por MONTGOMERY (2004, p. 2), apresenta oito dimensões da qualidade, sendo estas:

- a) Desempenho – o produto realiza a tarefa pretendida?
- b) Confiabilidade – qual a frequência de falhas do produto?
- c) Durabilidade – qual é a vida útil do produto?
- d) Assistência Técnica – qual é a facilidade de manutenção do produto?
- e) Estética – qual é a dimensão do apelo visual do produto?
- f) Características Funcionais – o quê o produto faz ou provê?
- g) Qualidade Percebida – qual a reputação do produto?
- h) Conformidade com as Especificações – o produto foi feito conforme as especificações do projeto?

Devido à diversidade de aspectos considerados na questão da “qualidade”, questionamentos como “O que é qualidade?”, ou “O que é melhoria da qualidade?”, não são facilmente respondidos. Tradicionalmente a definição de qualidade baseia-se na consideração de que os produtos e serviços devem apresentar as especificações exigidas por aqueles que os usam (MONTGOMERY, 2004).

SIMLEY (2001) apresenta, de um modo bastante simplificado, que W. Edwards Deming definiu qualidade simplesmente como “encantar o cliente”, enquanto

¹ GARVIN, D. A. Competing in the Eight Dimensions of Quality. Harvard Business Review, Sept.-Oct., 1987

que J. M. Juran define qualidade como sendo a “satisfação do cliente”. De onde se entende que ‘qualidade’ é um padrão tal que varia segundo as expectativas do cliente. Nesta idéia também está implícito o fato de que para um mesmo produto ou serviço pode se ter alta ou baixa qualidade, dependendo do uso que se fará deste.

W. Edwards Deming, após a Segunda Guerra Mundial tornou-se consultor das indústrias japonesas empregando os métodos estatísticos no controle da qualidade como arma de competitividade. Estes métodos tornaram-se fundamentais para a expansão da indústria e da economia japonesa. Ele acreditava que a responsabilidade pela qualidade está no gerenciamento, onde se dá forte ênfase na prevenção de erros através da melhoria do processo, e não na inspeção quando o erro já ocorreu, pois neste caso, o gasto também já ocorreu (MONTGOMERY, 2004).

Segundo BURITY et al. (1999), no Brasil, o quesito qualidade tem ocupando espaço significativo no meio empresarial e é cada vez mais relevante o número de empresas que obtiveram o certificado ISO 9000. Através do Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), do Comitê Brasileiro de Qualidade (CB 25) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Brasil participa das reuniões internacionais que tratam do assunto. A ISO 9000 é uma série de normas sistematizadas para a qualidade. Pelo seu caráter genérico, estas não se prendem a nenhum produto em particular, tratando apenas do processo produtivo como um todo.

Segundo SIMLEY (2001), no Padrão Internacional ISO 8402 (1986) a definição que descreve ‘qualidade’ é apresentada como “... a totalidade de feições e características de um produto ou serviço que garantem em suas capacidades a satisfação das necessidades explícitas ou implícitas”. Em Cartografia tem-se adotado este conceito em princípios de qualidade para informações geográficas digitais, prescrito pela *International Organization for Standardization (ISO) Technical Committee on Geographic Information/Geomatics*. Esta definição vem reforçar as intenções de que os requisitos de qualidade devem atender às necessidades do usuário. Segundo BURITY et al. (1999) o Estado Maior do Exército (1995) ressalta, dentre outros requisitos, que atender às necessidades do usuário significa que:

- a) adequação do produto ao uso, e a entrega satisfazendo as solicitações;
- b) O produto deve ser confiável. Se ele é parte componente de um determinado propósito, poderá ser duvidoso ou gerar decisões inadequadas para outro propósito.

Estas considerações se ajustam aos requisitos de qualidade para o mapeamento. As necessidades do usuário de produtos cartográficos podem estar declaradas ou implícitas, por exemplo; qualquer carta contém, implicitamente, uma acurácia, uma simbologia e os atributos das feições, mas para uma carta cadastral urbana, por exemplo, é preciso declarar a necessidade de conter também as parcelas imobiliárias, quadras, sistema viário, e outras informações de seu interesse. Portanto, algumas informações não são necessariamente implícitas, e requer-se explicitá-las (BURITY et al., 1999).

Cada uma das características de qualidade do mapa, na realidade, representa uma propriedade complexa. A confiabilidade do mapa, por exemplo, é uma propriedade complexa, que caracteriza a sua capacidade de corresponder às expectativas do usuário em desenvolver plenamente as suas tarefas. A confiabilidade depende da complexidade, veracidade, atualidade, precisão dos métodos de representação cartográfica, da qualidade do projeto cartográfico e de outros fatores (KARNAUKHOVA & LOCH, 2001).

De acordo com SIMLEY (2001), o padrão ISO-19113 tratará da definição do esquema para qualidade aplicável aos dados geográficos, enquanto que o padrão ISO-19114 tratará do desenvolvimento de padrões para os métodos de especificação ou avaliação da qualidade de dados.

Contudo, observa-se que grandes esforços são empregados na busca por determinação de parâmetros de qualidade. Diante das dificuldades em se estabelecer padrões universais de qualidade, setorialmente têm-se encontrado soluções parciais.

Segundo BURITY et al. (1999), normalmente, a qualidade no contexto do mapeamento induz à consideração mais enfática da qualidade posicional. Esta tem sido a principal preocupação relativa à qualidade no processo de mapeamento, mesmo

porque, é dela que se faz a classificação final do produto. A qualidade posicional é inerente aos processos e métodos utilizados na produção de documentos cartográficos que devem se adequar às necessidades e finalidades á que se destinam. Porém, outros parâmetros também devem ser avaliados para se obter a qualidade de mapeamento.

RAMIREZ & ALI (2003), relatam que a qualidade de dados espaciais é uma questão muito importante e complexa. Tradicionalmente, tanto produtores como usuários de dados espaciais reconhecem sua importância, mas, dedicam poucos esforços para entender a qualidade dos dados espaciais e para a avaliação dos documentos cartográficos em meio analógico. A maioria destes documentos têm apenas declaração geral sobre a compilação do mapa com algum padrão de acuracidade.

LEAL (1998), verificou que a qualidade posicional de uma carta degrada-se à medida que ocorrem as transformações do meio analógico para o meio digital. Segundo NGDC (2003), a *National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA*, órgão responsável por parte das tarefas de mapeamento dos Estados Unidos, aponta questões, como sendo verdadeiros desafios, sobre a precisão das informações espaciais em Sistemas de Informação Geográfica. O artigo da NGDC (2003), inicia com a pergunta ‘você quer usar SIG como uma ferramenta científica?’. A partir disto, colocam-se algumas questões desafiadoras como:

- a) as pessoas desenvolvem suas bases de dados (SIG) através da digitalização de mapas. Esta prática impõe muitas aproximações e distorções do material original nos dados digitais. Porém, tais distorções não são desejadas nos dados originais, e freqüentemente não são declaradas, ainda que sejam facilmente detectadas por métodos apropriados;
- b) dados digitais são adquiridos pelas próprias fontes de dados do usuário, a partir de produtos cartográficos. Isto pode acarretar problemas similares aos do tópico anterior;
- c) os diversos projetistas de software e consultores de Sistemas de

Informação Geográfica - SIG (*Geographic Information Systems* - GIS) atenuam os problemas relativos à precisão, considerando-a como algo concernente ao desenvolvimento da base de dados espaciais. A razão disto pode ser a falta de tempo para discutir a precisão, uma vez que existem muitas outras questões para serem analisadas. Ou também, porque a questão ‘precisão’ raramente é questionada pelos usuários, e então os consultores passam a desconsiderá-la em sua real importância;

- d) a documentação sobre precisão de dados posicionais e temáticos parece óbvia em si mesma. Porém, usuários de diferentes profissões necessitam ter acesso e clareza a essas informações. É importante descrevê-la com uma linguagem legível e ainda confirmá-la com dados históricos se houver. Normalmente a documentação não é adequada e ao invés de ajudar os novos usuários, a documentação existente apenas os confunde ainda mais. O resultado é que o novo usuário é alguém desinformado, e em consequência disto, ou abandona os dados por não conseguir deles o que quer, ou inadvertidamente usa o dado de modo errado;
- e) a precisão é facilmente desprezada em realizações com softwares de SIG.

Ainda segundo o mesmo artigo, NGDC (2003), os softwares para SIG têm sido utilizados apenas como uma ferramenta melhorada para se criar mapas, limitando-os como instrumento científico. No entanto, uma vez que o SIG tenha sido alimentado com dados de alta precisão, torna-se um meio eficaz para estudo científico. Porém, há situações em que, mesmo quando dados de excelente qualidade são armazenados em um SIG, o produto impresso pode revelar deslocamentos significativos em feições pontuais, conforme exemplo citado no artigo, onde pontos de controle geodésicos implantados na linha de costa do Waikiki (Hawaí) posicionavam-se ao mar na carta impressa. Como poderia se explicar este fato se, segundo o artigo (NGDC 2003), o trabalho analisado utilizou pontos de controle geodésico de alta precisão; o mapa foi impresso com moderada resolução; e os *Data* que foram utilizados e a projeção cartográfica são claramente conhecidos?

Segue-se no artigo NGDC (2003), que erros de digitalização foram descartados. Dificuldade do sistema de projeção em retificar as coordenadas em combinação com os *Data* que foram utilizados, considera-se possível, mas, nada se afirma. Observa-se, no entanto, que é baixa a frequência com que se vê a descrição completa a respeito de *Data* horizontais e verticais em conjunto com os dados espaciais em um mapa. E ainda questiona-se a real eficiência dos softwares em manipular sistemas de projeção e *Data*. Pesquisas nesta linha de representação de dados espaciais têm sido feitas pelo *NOAA's National Geophysical Data Center* em cooperação com *NOAA's National Geodetic Survey* e a *U.S. Geological Survey*. Uma variedade bastante grande de questionamentos, ainda sem respostas satisfatórias, tem incrementado o desejo de pesquisadores e usuários de Cartografia em aprofundar conhecimentos conceituais para criar padrões suficientes ao emergente domínio da qualidade dos dados espaciais. Diversos trabalhos direcionados a esse esforço já têm sido feitos.

Os artigos USGS (2003a), USGS (2003b) e USGS (2004), apresentam uma extensa lista de padrões adotados para a Cartografia dos Estados Unidos, e que são adotados também por outros países. Segundo MOORE (2000), a *U.S. Geological Survey* (USGS), um dos órgãos oficiais dos Estados Unidos, responsáveis pelo mapeamento daquele país, teve, dentre suas responsabilidades, a realização e manutenção do mapeamento topográfico na escala 1:24.000 (enquadramento de 7,5 minutos em coordenadas geodésicas). Essa atividade consistiu de novo mapeamento que teve início em meados da década de 40 (1940) e estendeu-se até o início da década de 90 (1990). Reúne aproximadamente 57.000 cartas e é a única série uniforme de mapas que cobre toda a área dos Estados Unidos. A revisão e atualização destes mapas foram efetuadas segundo os padrões de qualidade estabelecidos pelo *National Map Accuracy Standard* (NMAS). Resumidamente, estes padrões, segundo USGS (2003a), são os seguintes:

- a) Acuracidade Horizontal – aceita-se menos de 10% dos pontos testados com erro maior que 1/30 polegadas (0,85mm) para mapas em escalas

maiores que 1:20.000, ou 1/50 polegadas (0,51mm) para mapas em escala 1:20.000 ou menores, medidas na escala de publicação. Esses limites de acuracidade deverão ser aplicados para todos os casos de posição de pontos bem definidos. Pontos bem definidos são todos aqueles facilmente visíveis ou reconhecíveis no terreno, tais como: monumentos ou marcos, limite de propriedade, interseção de vias, estrada de ferro, canto de construção, etc. (U.S. BUREAU OF THE BUDGET, 2002). Em geral, um ponto bem definido também pode ser determinado pelo que é representável na escala, ou seja, cuja dimensão mínima seja de 1/100 polegadas (0,25 mm) na escala do mapa;

- b) Acuracidade Vertical – aceita-se que menos de 10% dos pontos de altitude testados tenham erro maior que a metade do intervalo das curvas de nível, ou seja, metade da equidistância vertical. (U.S. BUREAU OF THE BUDGET, 2002)

No projeto de revisão das cartas topográficas, realizado pela USGS, alguns limites foram estabelecidos, como por exemplo:

- a) os erros referem-se à posição absoluta e não à posição relativa no local;
- b) os erros devem estar dentro de um alcance de 0,02 a 0,10 polegadas (0,5mm a 2,5mm) na carta 1:24.000, ou 40 a 200 pés (12,2m a 60,96m) no terreno;

Na revisão destas cartas topográficas, a *National Mapping Division* (NMD) do USGS constatou que algumas delas realmente não alcançaram estes padrões. Estes padrões de qualidade estabelecidos pelo NMAS serviram de base para a elaboração de diversos outros documentos desta mesma natureza, em diferentes países, como também é o caso do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC do Brasil.

No Brasil, desde o decreto-lei número 89.817 que estabelece o PEC, publicado no Diário Oficial da União em 20/06/84, existem normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica. Esse documento legal que estabelece a forma de classificar um documento cartográfico

segundo sua qualidade geométrica, divide as cartas em 3 categorias ou classes (A, B, C) quanto à sua acuracidade (CONCAR, 1984).

Diferentes valores do PEC, conforme resumido na Tabela 2.1, devem ser interpretados em conjunto com os seguintes requisitos:

- noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido.
- noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido.

Assim, o PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a acurácia de documentos cartográficos. Essa probabilidade corresponde a 1,6449 vezes o desvio padrão. É oportuno lembrar que o desvio padrão é a distância σ entre a média e cada um dos dois pontos de inflexão da função de densidade de probabilidade normal, onde o erro padrão é $\pm 1 \sigma$, e o PEC é $1,6449 * \sigma$ (ANDRADE, 2003). O artigo 10º estabelece que é obrigatória a indicação da classe do mapa no rodapé da folha, ficando o produtor responsável pela fidelidade da classificação. Caso os documentos cartográficos não atinjam a especificação mínima (classe C), deverá ser incluída no rodapé da folha a indicação do Erro-Padrão resultante do processo de classificação (CINTRA & NERO, 2001).

TABELA 2.1 – VALORES DO PEC E DO EP (DECRETO LEI N.º 89.817)

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm	0,3 mm	1/2 Eq	1/3 Eqüidistância
B	0,8 mm	0,5 mm	3/5 Eq	2/5 Eqüidistância
C	1,0 mm	0,6 mm	3/4 Eq	½ Eqüidistância

FONTE: CINTRA & NERO (2001)

O PEC além de ser o único instrumento para avaliar a qualidade das informações cartográficas, restringe-se apenas ao que se refere à acuracidade posicional dos elementos mapeados, e adicionalmente a isto, também, possui limitações para as informações em meio digital. Questões como a escolha de “pontos

bem definidos” na carta associados à sua identificação no terreno, normalmente constitui-se problema. O Manual de Normas Técnicas da Cartografia Brasileira diz que: “Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico estabelecido”. No entanto a maioria dos pontos que se mede não podem ser classificados como “bem definidos” pois, estes se referem a feições pontuais sujeitas a variações contínuas no espaço e no tempo. As dificuldades podem ser ainda maiores quando se trata de dados altimétricos, os quais não possuem características visíveis no terreno, ou ainda quando se trata de dados mais complexos como, a qualidade do ar, ou da água, a temperatura, ou características do solo. Estes dados podem ter valores diferentes em um mesmo ponto, devido à variação contínua sobre estes fenômenos. Também em Sensoriamento Remoto essa necessidade tem sido reconhecida por RAGIA & WINTER (2000), onde descrevem sobre a qualidade de objetos de área no conjunto de dados espaciais. Assim, evidenciam-se diversos segmentos da cartografia com necessidades de busca por mais conhecimentos e técnicas relativas à determinação da qualidade de mapeamento para prover meios de quantificação desta qualidade, proporcionando finalmente a ampliação do domínio e utilização dos documentos cartográficos.

2.2. BASE CARTOGRÁFICA

O termo ‘base cartográfica’ está intrinsecamente associado ao uso que se faz de um conjunto de documentos cartográficos para um determinado fim. As informações que compõem uma base cartográfica são provenientes do mapeamento topográfico associadas às informações temáticas correspondentes ao objetivo do mapeamento. Então, por ‘base cartográfica’ entende-se ser o material provedor de informações cartográficas e que são relevantes para um determinado fim, ou seja, para a execução de um determinado serviço, ou para a construção de um novo produto cartográfico.

Um novo produto cartográfico pode ser compilado através da organização e seleção de informações extraídas de um conjunto de documentos cartográficos coerentes entre si. Esta coerência refere-se às ciências (geodésia, fotogrametria e cartografia) utilizadas na sua elaboração bem como à precisão das informações espaciais. Portanto, a esse conjunto de informações espaciais úteis a um dado propósito, denomina-se base cartográfica.

2.3. GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

ROBINSON et al. (1995) descrevem a generalização cartográfica como um conjunto de modificações aplicadas nos dados, de forma a torná-los legíveis eliminando os problemas decorrentes da redução de escala, ou seja, as transformações que as representações das feições sofrem são função da mudança de escala, do objetivo e do domínio temático do mapa, além da relevância da informação. Esta definição de generalização aborda tanto os aspectos de legibilidade, como de redução de escala e relevância da informação ao objetivo do mapa. Estes são os aspectos que se deseja enfatizar neste trabalho. Porém, com o propósito de ampliar a compreensão do processo de generalização, seguem-se ainda, outras definições.

Segundo MIL-HDBK-850 (1994), generalização é o processo de redução dos dados originais para transformação dentro de um banco de dados ou de um mapa. Generalização envolve agregação, aglomeração (combinação), seleção, eliminação de resolução das feições, classificação, suavização, amostragem, simplificação, exagero, substituição, compactação de variáveis, redução do nível de medida, troca de dimensão, e simbolização.

Então segundo SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY (1979), o Professor Imhof descreve o objetivo da generalização cartográfica como sendo o alcance da mais alta acuracidade possível de acordo com a escala do mapa, sendo capaz de informar geometricamente, ter boa caracterização na forma dos elementos, obter a melhor similaridade possível com as formas e cores naturais. Além disso, deve-se ter clareza,

boa legibilidade, simplicidade e exposição clara na expressão gráfica e coordenação dos diferentes elementos do mapa.

As operações de generalização cartográfica são: omissão seletiva, simplificação, exagero e deslocamento. A omissão seletiva refere-se ao processo de seleção dos objetos do terreno que deverão ser representados no mapa de acordo com os objetivos do mapeamento. A simplificação consiste em reduzir detalhes das feições individuais ou de grupos similares, por exemplo, edificações próximas podem ser representadas por um único polígono sem comunicar as unidades individuais. Na simbolização, o exagero e deslocamento são efeitos freqüentes. O exagero ocorre no tamanho das feições segundo a importância destas no contexto do mapa. Por exemplo, a representação de pontos turísticos como igrejas, parques, teatros etc, podem ser representadas por símbolos cujo tamanho não corresponde com a real dimensão do objeto, mas, devido sua importância no contexto do mapa, o tamanho do símbolo correspondente à estas feições ocorre de forma exagerada. A necessidade de deslocamento entre duas feições próximas que se unem ou que se sobrepõem após a redução da escala, deve ocorrer de modo suficiente para permanecerem distinguíveis visualmente. Neste caso, os símbolos não representam as localizações absolutas, mas, o correto posicionamento relativo entre elas. Outro exemplo de deslocamento ocorre na representação de duas vias adjacentes que devido à proximidade entre elas, a escala do mapa impossibilita a representação distinta de cada uma delas, então, efetua-se o deslocamento geográfico destas feições de modo que sejam representadas distintamente. Contudo, o valor informativo e o equilíbrio entre as feições generalizadas devem ser preservados (KEATES, 1973).

Autores como ROBINSON et al (1995), DENT (1985), afirmam que generalização cartográfica é um processo operacional onde são utilizadas ferramentas de manipulação semântica e geométrica, com o objetivo de gerar modelos mais abrangentes ou com um diferente enfoque temático a partir de modelos mais completos.

3 METADADOS

Metadados são dados a respeito de dados, ou seja, são dados que informam a respeito da existência, localização e natureza de volumes de dados armazenados e disponibilizados. Metadados de qualidade são os dados que informam especificamente a respeito da qualidade dos dados existentes. Grandes volumes de dados espaciais têm sido criados e disponibilizados, e as necessidades de conhecer e transportar estes dados são inerentes ao conceito de metadados.

Segundo MORRISON (1995, p.3), a informática tem mudado o tradicional papel do cartógrafo, e simultaneamente, o produto cartográfico final. A informática está permitindo um aumento na produção de dados espaciais, e mais importante, promovendo uma grande expansão do número de potenciais usuários que empregam produtos cartográficos. Assim, os cartógrafos, diariamente, têm a oportunidade de colecionar e de usar dados espaciais digitais cujos padrões de qualidade excedem àqueles necessários ou requisitados pelo usuário. Ainda contam com a facilidade de agregar novos atributos aos dados espaciais, e de transferir facilmente todos esses dados. Principalmente a facilidade de acesso aos dados tem permitido que dados de atributos, por exemplo, sejam agregados a bancos de dados espaciais já existentes, permitindo que, em diversos casos, haja um conjunto de dados com variados níveis de qualidade. Todas essas facilidades têm diminuído o controle dos cartógrafos sobre os novos produtos cartográficos, quando comparado com o que se tinha durante a produção de mapas impressos. Neste novo cenário, frequentemente, produtor e usuário dos dados não são identificados, dificultando a obtenção de conhecimentos relativos à qualidade destes dados. Questões pertinentes à coleta de dados tais como:

- a) Como poderia o produtor descrever sobre a qualidade do dado espacial coletado de forma a proporcionar uma adequada avaliação do usuário?
- b) Quais critérios deveriam ser utilizados pelo usuário para escolher os dados espaciais dentre a grande variedade disponível?
- c) Em que estas decisões deveriam se basear: no conhecimento da

qualidade do dado, na disponibilidade, ou no fácil acesso ao dado espacial?

No passado não havia esses questionamentos, porém, hoje eles existem e nem sempre se tem respostas satisfatórias a eles.

3.1 QUESTÕES RELATIVAS À TRANSFERÊNCIA DE DADOS.

As facilidades proporcionadas pela tecnologia trouxeram também questões complexas de administrar. Na transferência para o meio digital os dados espaciais sofrem prejuízos em sua formatação e conteúdo, o que conduz à necessidade de se estabelecer padrões para a execução destas tarefas. Essa carência ficou evidenciada principalmente pelo uso dos SIG. Hoje, várias organizações no mundo têm investido grandes somas de recursos no estabelecimento destes padrões. Apenas as agências federais dos Estados Unidos despendem mais de quatro bilhões de dólares anualmente para gerar ou coletar dados espaciais (USGS, 2004).

Durante a década de 1980 grupos de especialistas em várias partes do mundo iniciaram esforços no sentido de produzir padronização para os diferentes aspectos dos dados digitais. A maioria destes esforços inclui a preocupação com a qualidade do dado espacial. Em 1982, nos Estados Unidos, o *National Committee on Digital Cartographic Data Standards* (NCDCDS) foi estabelecido sob o suporte do *American Congress of Surveying and Mapping* (ACSM). Por um período de cinco anos este comitê deliberou e produziu um registro intitulado ‘*A Draft Proposed Standard for Digital Cartographic Data*’ (MOELLERING², apud GUPTILL & MORRISON, 1995, p.7). Uma das quatro seções desse documento foi dedicada à qualidade do dado para a cartografia digital. Talvez possa se entender este documento como sendo o primeiro sobre a qualidade de dados espaciais na era eletrônica (GUPTILL & MORRISON, 1995).

O padrão Americano *SDTS* (*Spatial Data Transfer Standard*) foi a primeira

² MOELLERING, H. Adraft Proposed for Digital Cartographic Data, National Committee For Digital Cartographic Standards. American Congress on Surveying and Mapping Report #8. 1987.

proposição de uma série de instruções que definem e documentam a qualidade dos dados para SIG. Uma das principais características do SDTS é o requerimento do registro da qualidade dos dados feito por meio de cinco parâmetros: genealogia, acuracidade posicional, acuracidade temática, coerência lógica e completeza (CAPRIOLI et al., 2003).

Segundo a USGS (2004), o SDTS oferece uma maneira prática e eficiente de transferência de dados espaciais entre diferentes plataformas computacionais ou diferentes computadores pessoais. Este padrão tem sido desenvolvido e melhorado por vários anos, e seu uso tem sido mantido por agências federais. O SDTS foi aprovado pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) como um *Federal Information Processing Standard* (FIPS 173). Pela concordância das agências federais com a FIPS 173, o uso do SDTS tornou-se obrigatório em 1994. Assim, muitas agências federais como a USGS (*United States Geological Survey*), a *U.S. Census Bureau*, e *Army Corps of Engineers*, agora produzem e distribuem dados espaciais no formato SDTS. A necessidade de se ampliar a classificação da informação espacial fez surgir uma organização coordenadora destes serviços, a *Federal Geographic Data Committee* (FGDC), que é formada por representantes de todas as agências federais dos Estados Unidos que possuem um volume significativo de produção e uso de dados espaciais. Mais recentemente houve a necessidade de um programa nacional de classificação dos dados espaciais, tendo como participantes todos os níveis governamentais e também dos setores privados, o que conduziu à criação do programa *National Spatial Data Infrastructure* (NSDI), em 1994 pelo poder executivo norte-americano. Este programa incentiva a consistência na produção e uso dos dados espaciais, menor redundância na compilação dos dados, e a reutilização de dados já existentes.

Conforme USGS (2004), há grandes desafios nas questões relativas à transferência de dados espaciais. Assim como na transferência de arquivos de textos a formatação pode se perder e falsos caracteres podem ser adicionados, problemas similares ocorrem na transferência de dados espaciais, porém, com maior

complexidade. Por exemplo:

- a) Diferentes softwares possuem diferentes estruturas para o armazenamento dos dados;
- b) os atributos não gráficos, dos bancos de dados são incluídos na transferência de dados e não devem perder suas ligações com as respectivas feições espaciais;
- c) Os diversos padrões praticados pelos usuários de SIG na construção e manutenção dos bancos de metadados contêm informações sobre a qualidade e características dos bancos de dados espaciais. Essas informações são importantes para ajudar o usuário a determinar a disponibilidade e utilidade dos dados, e isso deve ser preservado na transferência dos dados.

Um eficiente e útil mecanismo de transferência de dados espaciais, entre as diversas plataformas computacionais, deve providenciar maneiras de codificar e transferir todos estes dados bem como os respectivos componentes dos bancos de dados espaciais.

O SDTS foi projetado especificamente para ser usado na transferência de dados espaciais. Antes que a transferência propriamente dita seja feita, o SDTS providencia um formato de troca intermediária. Essa troca intermediária é mais eficiente e reduz os custos de desenvolvimento do software por necessitar de apenas um conjunto de codificadores e decodificadores. Uma troca direta significaria que cada plataforma de software necessitaria fazer a transferência para todos os outros formatos de softwares SIG. O SDTS cumpre com essa tarefa, definindo diferentes níveis para os dados, partindo do mundo real até chegar na representação física do dado. Ou seja, do mundo real as informações passam para o nível conceitual, incluindo suas características geométricas, topológicas e seus relacionamentos. O nível lógico apresenta um formato de dado que identifica e codifica as informações a serem transportadas. No nível físico, tem-se padrões e formatos específicos para codificar fisicamente o dado em um meio digital. O SDTS oferece consistência, meios

padronizados para registro, descrição, e formato do dado para cada nível. Quando um dado é transferido ou codificado para o formato intermediário do SDTS, os equipamentos receptores destes dados podem usá-lo sem dificuldade. A transferência ou decodificação do dado ocorrerá dentro do formato requisitado pelo software particular que está sendo usado (USGS, 2004).

3.2 ESPECIFICAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DOS DADOS ESPACIAIS

Segundo GUPTILL & MORRISON (1995, p.6), a ICA (*International Cartographic Association*) *Commission Spatial Data Quality* reconhece três partes para a especificação e uso da informação sobre a qualidade do dado espacial:

- a) a definição dos elementos que compõem a qualidade do dado espacial – este foi considerado o primeiro passo necessário para suprir os usuários com as informações que eles necessitam;
- b) a obtenção de um índice, ou valor métrico, facilmente entendido para os elementos referentes à qualidade do dado espacial – esta tarefa foi considerada a mais difícil de se realizar;
- c) o modo de representar o conhecimento acerca da qualidade do dado espacial – alguns pesquisadores já iniciaram trabalhos nesta linha.

MOELLERING³ citado por GUPTILL & MORRISON (1995, p.7), especifica cinco componentes que se reportam à qualidade do dado espacial (**linhagem, acuracidade posicional, acuracidade de atributo, coerência lógica, completeza**) e a *Commission on Spatial Data Quality - ICA*, juntamente com outros grupos, têm aceito estes cinco elementos como aspectos importantes da qualidade do dado espacial. Estes cinco componentes definidos em NCDCDS tiveram uma nova versão propondo a padronização para a transferência dos dados espaciais criada pelo

³ MOELLERING, H. Adraft Proposed for Digital Cartographic Data, National Committee For Digital Cartographic Standards. American Congress on Surveying and Mapping Report #8. 1987.

trabalho de Moellering, o qual foi aceito pelo *National Institute of Standards and Technology* como o *Federal Information Processing Standard – 173*. A *Commission on Spatial Data Quality - ICA* tem ainda considerado vários outros aspectos potenciais referentes à qualidade do dado espacial, dos quais dois deles tem alcançado consenso para ser adicionado ao conjunto dos cinco primeiros elementos, que são os elementos relativos aos aspectos semânticos e temporais.

3.3 PADRÕES PARA OS DADOS ESPACIAIS NO MUNDO

Ao redor do mundo existem diversas organizações comprometidas com a padronização dos dados espaciais. Na Tabela 3.1 relacionam-se os países membros da ICA – *International Cartographic Association*, que propuseram tais padrões.

Segundo WEBER, et al. (1999), esses padrões internacionais normalmente visam não apenas garantir a transferência de dados espaciais digitais, como também permitir o cruzamento de suas informações, o controle de qualidade, a metodologia de transferência, a terminologia, e os requisitos mínimos para disponibilização. Estes padrões estabelecem basicamente uma terminologia comum aos fenômenos espaciais, classes de geodados e seus modelos de informação, além de regras para produção de metadados. Alguns padrões já são operacionais, dispondo inclusive de software para cadastramento de metadados e esquemas para disponibilizar os metadados em “sites” da Internet. Os principais padrões de dados e metadados geoespaciais operacionais e propostos são comentados a seguir.

TABELA 3.1 – PADRÕES DE METADADOS GEOESPACIAIS.

PAÍS	ORGANIZAÇÃO
Austrália	AUS-SDTS
Áustria	S2260 - ON-A2260 - <i>Austrian Standards Institute</i>
Canadá	SAIF – <i>Spatial Archive and Interchange Format</i>
China	DEFS – (2004 - sendo implementado)
Finlândia	JHS 117-119 - EDI - <i>standard finlandese</i>
França	EDIGeO - <i>Echange de Donne'es Informatise'es Ge'ographiques</i>
Alemanha	ALK/ATKIS-EDBS - ATKIS - <i>Amtliches Topographisch-Kartographisches Informations System</i>
Israel	IEF91 <i>Israel Exchange Format</i>
Japão	SPDFDM - <i>Standard Procedure and Data Format for Digital Mapping.</i>
Holanda	NEN 1878 - <i>standard del NNI - Netherlands Normalisation Institute</i>
Noruega	SOSI - <i>Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon</i>
Rússia	Fed – DEMTS - <i>Digital and Electronic Maps Transfer Standard</i>
Espanha	NICCa - <i>Norma de Intercambio de Cartografia Catastral</i>
Suíça	INTERLIS - <i>Data Exchange Mechanism for LIS</i>
Reino Unido	NTF - <i>National Transfer Format (UK)</i>
Estados Unidos	SDTS – <i>Spatial Data Transfer Standard</i>
De WEBER et. al. (1999):	
Europa	<i>CEN TC287 – Committee European des Normalisation, Technic Committee 287</i>
Austrália e Nova Zelandia	<i>ANZLIC – Australia New Zealand Land Information Council [ANZ 97]</i>
NASA (USA)	<i>GCMD – Global Change Master Directory. Desenvolvido pela NASA</i>
Estados Unidos - FGDC	<i>CSDGM – Content Standards for Digital Geospatial Metadata. Desenvolvido pelo FGDC – Federal Geographic Data Committee (USA)</i>
Universalmente aceito	<i>Dublin Core – É uma especificação de metadados.</i>

FONTES: NCL (2004); WEBER et al. (1999)

3.3.1 – Padrão SDTS – Spatial Data Transfer Standard

O padrão SDTS (MOELLERING⁴, apud WEBER, et al., 1999) foi desenvolvido pelo *Federal Geographic Data Committee* – FGDC dos Estados Unidos e publicado no *US Federal Information Processing Standard* em 1992. Este padrão objetiva permitir as agências federais dos Estados Unidos compartilharem dados espaciais em aplicações de diferentes ambientes computacionais (software, hardware, sistema operacional). Este é o padrão mais antigo de transferência de informação

⁴ MOELLERING, H. The proposed standard for digital cartographic data: report of the digital cartographic data standards task force. The American Cartographer, v.5, n.1, 1988.

especial digital entre softwares de informações espaciais. Os aspectos topológicos e a correspondência entre arquivos gráficos são considerados neste padrão.

O SDTS possui alguns subconjuntos projetados para uso específico de dados, chamados perfis do SDTS. O *Topological Vector Profile* (TVP) foi o primeiro perfil do SDTS destinado ao uso de dados geográficos vetoriais com topologia gráfica planar. O segundo perfil foi o *Raster Profile*, que trata de dados de imagens, modelos digitais de elevação, níveis de informações em SIGs e outros tipos em grades. O SDTS possui uma segunda parte que representa uma tentativa formal de desenvolver uma lista padronizada de termos. Atualmente estes termos referem-se aos dados topográficos e hidrográficos, e se baseiam em uma metodologia hierárquica capaz de acomodar a maioria das especificações de conteúdo de dados.

O *United States Geological Survey* (USGS), visando facilitar o acesso e uso do SDTS desenvolveu programas (biblioteca de funções C++) de software que dão suporte à implementação do padrão SDTS.

Por ser um dos primeiros padrões, o SDTS é bastante utilizado, sendo requerido em todas as contratações do governo americano para obtenção de dados geoespaciais. Também forma parte do conjunto de especificações *Digital Geographic Information Exchange Standards* – DIGEST, utilizado em aplicações militares por vários países membros da OTAN, que no nível conceitual parece muito com o SDTS, sendo internacionalmente aceito (WEBER et al., 1999).

3.3.2 Padrão CSDGM – Content Standards for Digital Geospatial Metadata

Segundo WEBER et al. (1999), o CSDGM foi desenvolvido pelo *Federal Geographic Data Committee* (FGDC) dos Estados Unidos (FGDC⁵, apud WEBER et al., 1999). O padrão foi aprovado em 1994 e entrou em vigor em 1995. O padrão CSDGM especifica o conteúdo da informação de metadados para um conjunto de

⁵ FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE. Content Standard for Digital Geospatial Metadata. Washinton, D.C.: FGDC – Federal Geographic Data Committee, 1997. Disponível em <http://www.fgdec.gov>.

dados espaciais digitais. Seu objetivo é prover um conjunto comum de terminologia e definições para a documentação ligada a esses metadados.

O padrão CSDGM inclui informações selecionadas com base em quatro funções que os metadados em geral devem desempenhar:

- a) disponibilidade – informa o conjunto de dados existentes para uma localização geográfica;
- b) adequabilidade para uso – determina se o conjunto de dados preenche uma necessidade específica;
- c) acesso – dados necessários para adquirir um conjunto de dados identificado;
- d) transferência – informações para processar e usar um conjunto de dados.

O padrão CSDGM é complementar ao padrão SDTS e vice-versa. Há um relacionamento próximo entre o padrão CSDGM e os elementos de metadados contidos no módulo *Data Quality* do SDTS e em módulos relativos à transferência SDTS. Como o padrão CSDGM contém metadados usados para procurar por conjuntos de dados espaciais digitais, esses elementos não precisam estar contidos no conjunto de transferência SDTS.

3.3.3 SAIF – Spatial Archive and Interchange Format

Segundo WEBER, et al. (1999), o SAIF foi desenvolvido pela Divisão de Levantamento e Mapeamento de Recursos do Ministério do Ambiente, Território e Parques da Columbia Britânica (Canadá)⁶. Este padrão SAIF foi concebido para facilitar a interoperabilidade, particularmente no contexto da troca e arquivamento de dados. Uma característica importante é que o SAIF trata os dados geográficos como qualquer outro dado, por originar-se das ciências de informação.

⁶ British Columbia Specifications and Guidelines for Geomatics. Spatial Archive and Interchange Format: SAIF formal definition. Release 3.2. 1995. v.1. Disponível em <<http://www.lii.crl.gov.bc.ca/saif/saifHome.html>>

3.3.4 CEN TC287 – Committee European des Normalisation, Technic Committee 287

O CEN TC287 é o padrão de metadados Europeu preparado pelo Comitê Técnico 287 (CT287) do Comitê Europeu de Padronização (CEN) (CEN⁷, apud WEBER et al., 1999). Em 1999 o padrão TC287 do CEN estava em estado de esboço em caráter ainda de proposta. No entanto o padrão CEN já estava sendo usado como parte do projeto *Multipurpose European Ground Related Information Network* (MEGRIN) e ainda previsto para servir de base para o desenvolvimento da norma ISO 15096. O conjunto de normas CEN (ISO) é constituído pela Norma Européia para informação geográfica. Este grupo de normas inter-relacionadas provê técnicas de desenvolvimento de esquemas para primitivas geográficas, qualidade de informação, diretórios de informação e dicionários. As categorias de metadados previstos no padrão CEN-TC287 são equivalentes às categorias do padrão CSDGM (WEBER et al., 1999).

3.3.5 ANZLIC – Austrália New Zealand Land Information Council (ANZ 97)

O padrão ANZLIC, proposto pelo *Austrália New Zealand Land Information Council* (ANZLIC⁸, apud WEBER, et al. 1999), tomou como base o padrão americano CSDGM, mas utiliza um subconjunto reduzido (núcleo) dos elementos de metadados, proposto pelo padrão CSDGM. O objetivo foi manter no padrão, somente aqueles elementos essenciais e indispensáveis, para facilitar o uso por parte dos usuários e produtores de dados geoespaciais. Uma das características diferenciais deste padrão é a possibilidade de incluir a documentação de dados não digitais.

⁷ CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Geographic Information – Data Description Language – Conceptual Schema Language. Brussels: CEN, 1996. (Report CR 287005).

⁸ ANZLIC THE AUSTRALIA NEW ZEALAND LAND INFORMATION COUNCIL. Core Metadata Elements for Land and Geographic Directories in Australia and New Zealand. 1997. Disponível em: <http://www.anzlic.org.au/metaelem.htm>.

3.3.6 GCMD – Global Change Master Directory

Segundo WEBER et al. (1999), o GCMD foi desenvolvido pela NASA e refere-se a uma fonte compreensível de informação sobre dados de satélite e de Ciências da Terra “*in situ*”, com recobrimento da atmosfera, hidrosfera, oceanos, terra firme e biosfera. Dispõe de uma interface de busca que permite ao usuário acessar essa base de dados. O formato *Directory Interchange Format* (DIF) permite ao GCMD integrar informação de aproximadamente 700 diferentes provedores de dados de várias disciplinas e compartilhar entradas com outros nós na *International Directory Network* (IDN).

3.3.7 Dublin Core

Ainda segundo WEBER et al. (1999), o padrão Dublin Core é uma especificação de metadados para catálogo de documentos eletrônicos. A intenção com esse padrão é definir um conjunto pequeno e universalmente aceito de elementos de metadados que permita a autores e provedores de informação espacial descreverem seus trabalhos. Além disso, deve facilitar a interoperabilidade entre ferramentas de descobrimento de recursos. Como a geração automática de metadados resulta em informação insuficiente e a geração manual é onerosa, o Dublin Core busca um sistema que esteja entre esses dois extremos, especificando que os elementos de metadados sejam opcionais e extensíveis.

Conforme GUPTILL & MORRISON (1995, p.8), analisando estes mesmos esforços referentes à qualidade do dado espacial em diferentes países percebe-se um consenso sobre um conjunto de elementos. Cartógrafos da África do Sul, do Reino Unido, da Austrália, e da Europa, parecem ter adotado os aspectos dos cinco elementos incorporados pelo *National Committee on Digital Cartographic Data Standards* – NCDCDS e o padrão *National Institute of Standards and Technology* – NIST. E ainda a *United Nations Environmental Programme* (UNEP), tem desenvolvido uma classificação para a qualidade de dado espacial.

4 ASPECTOS DE BUSCA DO CONHECIMENTO CARTOGRÁFICO

4.1 VISÃO HOLÍSTICA DA CARTOGRAFIA

A representação do espaço físico é o objeto primeiro da Cartografia, que busca atender as mais diversas aplicações dependentes das questões **onde**, **o quê** e suas **inter-relações** no espaço e no tempo. A pesquisa ambiental, por exemplo, tem por natureza um caráter idiográfico, pois trata das questões ambientais que são únicas no tempo e no espaço. Esta discussão está na própria ciência, que busca a compreensão da realidade através de sistemas ordenados trabalhando com o entendimento de fenômenos passados, sua existência no presente, e as previsões para o futuro (MOURA, 2003). Com isto, se pode associar o caráter idiográfico aos produtos cartográficos, uma vez que, representam o ambiente em uma única escala no espaço e no tempo. Assim, a manutenção de mapas ou as atividades executadas por um SIG, ou sistemas similares, são feitas por processos contínuos que consideram a constante mutação do ambiente.

Segundo MOURA (2003, p.19), Carnap, em 1891, acreditava que a ciência se dividia em dois ramos, a ciência factual e a ciência formal. Contudo observa-se hoje, uma grande interação entre essas duas áreas da ciência. Hoje se fala em visão holística, integrada, de consciência da interação dos fenômenos em amplo aspecto. Assim como o Geoprocessamento, muitas vezes associado somente à aplicação de técnicas, deve ser compreendido em sentido mais amplo, pois é produto de um contexto científico que norteia o modo de compreensão da realidade. Segundo estas classificações fica evidenciado que a Cartografia, por atender as diversas aplicações dependentes das questões que inter-relacionam o espaço e o tempo com todas as respectivas variações, obrigatoriamente necessita da consciência da interação dos fenômenos em amplo aspecto, e, portanto, da visão holística.

Além do caráter holístico da Cartografia há que se considerar que os produtos cartográficos representam fenômenos naturais. E os fenômenos naturais nem sempre se consegue expressá-los de forma exata. Portanto, as respostas fornecidas pela lógica Booleana, verdadeiro (V) ou falso (F), 0 ou 1, não são as mais adequadas. A lógica Fuzzy se aproxima mais da realidade complexa dos fenômenos naturais por considerar os intervalos de incertezas entre a transição dos diferentes fenômenos. A lógica Fuzzy permite lidar com conceitos imprecisos dependentes da intuição e avaliação humana, o que faz com que a natureza binária seja pouco adaptável, e a natureza contínua retrate melhor a subjetividade das ações humanas (SEIXAS FILHO⁹, apud MOURA, 2003, p.31).

4.2 BUSCA POR CONHECIMENTO E MODELOS

A busca por conhecimento está inserida na natureza humana que retrata o homem como um ser curioso e eternamente insatisfeito. Conhecer é mais do que simplesmente deixar de ignorar a existência de algo, mas, também, entender e dominar este algo. Ou seja, para exercer domínio é necessário reter, organizar e quantificar as informações relativas à questão que se deseja dominar.

Em um outro enfoque pode-se destacar a diferença entre passar a conhecer algo até então desconhecido, ou passar a dominar algo que já se tem conhecimento. O primeiro caso pode ser classificado como ‘descoberta’, ou seja, refere-se à passagem de um estado de ignorância para um estado de consciência. Porém, no segundo caso, conhecer melhor aquilo que já se entende como parte integrante do domínio do conhecimento do homem, exige alguns esforços diferenciados. É necessário entender que apesar de ‘conhecido’ deve-se buscar razões conscientemente explicáveis e, preferencialmente quantificáveis, para se obter o completo domínio. Pode ser oportuno para esta compreensão citar como exemplo a questão da ‘temperatura’.

⁹ SEIXAS FILHO, C. Introdução à lógica nebulosa: aplicada em sistemas de automação industrial. Belo Horizonte: ATAN – Sistemas de Automação, 1993. p.3-6. (Apostila).

Conforme TRZESNIAK (1998), antes do próprio conceito formal de ‘temperatura’ e da existência dos termômetros o homem já conhecia a sensação de calor e frio, porém, apesar deste conhecimento, o nível de compreensão era baixo se comparado com o que se tem atualmente. Após o estabelecimento formal da definição de temperatura e dos seus modelos de medidas, tornou-se possível obter domínio sobre este fenômeno. Mencionar a diferença ‘quantificada’ de temperatura entre dois ambientes, como por exemplo: um ambiente está com 0°C e o outro com 40°C , possibilita compreender estas duas situações sem necessitar estar presente nelas. A quantificação de conceitos propicia o estabelecimento de medidas, que por sua vez, viabiliza o seu domínio e a sua maior compreensão.

Segundo TRZESNIAK (1998), uma das mais importantes metas da busca do conhecimento é a obtenção de modelos. Por modelo entende-se ser um procedimento de qualquer natureza (prático, matemático, gráfico, verbal) capaz de, em todos os aspectos relevantes, reproduzir uma relação de antecedentes (causas) e conseqüentes (efeitos) de forma semelhante à que ocorre na realidade em que nos inserimos. Os modelos concentram-se nos aspectos relevantes e, portanto, correspondem a uma simplificação do evento em si, e proporcionam as vantagens da condução ao conhecimento resultante de um processo sem que o evento ocorra de fato na natureza.

Ainda que o modelo não alcance a forma idêntica do fenômeno quando ocorre na natureza, modelar um processo ou um sistema possibilita a atribuição de grandezas, ou medidas, que contribuem para se obter o domínio do conhecimento do evento modelado.

Porém, estabelecer e validar grandezas não são tarefas triviais. Mesmo nas áreas das ciências exatas, onde os modelos matemáticos representam, de maneira excelente, seus respectivos processos, a maioria das suas grandezas não apresentam um significado tão imediato (ex. temperatura), mas, correspondem a uma abstração que, muitas vezes, só faz sentido para especialistas, e ainda somente o conseguem estabelecer após algumas décadas de trabalho. Como exemplo deste fato, citam-se duas grandezas da Física, que combinam velocidade (v) e massa (m) de um corpo em

movimento: movimento linear $[v.m]$ e energia cinética $[(v^2.m)/2]$, que levaram décadas para serem estabelecidas (TRZESNIAK, 1998).

Existem conhecimentos que se baseiam em razões empíricas decorrentes de uma lógica suficiente por um determinado tempo, ou seja, até o surgimento de situações tais que colocam esta suficiência em dúvida. Na Cartografia também se observa a questão de conhecimentos empíricos em algumas fases do seu processo de produção e que hoje já não são suficientes para as exigências de suas aplicações. Este fato poderá ser constatado mediante a incumbência atribuída a mais de um engenheiro cartógrafo, independentes entre si, de realizar um projeto para base cartográfica de uma determinada cidade. Considerando uma determinada região a ser mapeada, o mesmo solicitante e, portanto, as mesmas necessidades, mesmos recursos para a execução daquele mapeamento, seria natural esperar que os projetos apresentados pelos engenheiros fossem idênticos. Mas, ainda que venham a ser muito parecidos, os projetos não serão idênticos. Cada engenheiro utilizará seus próprios conhecimentos e experiências pessoais para a elaboração deste projeto cartográfico. Isto mostra que o conhecimento empírico dos cartógrafos muitas vezes utiliza-se de subjetividade para as tomadas de decisões por falta de uma sistematização mais detalhada para nortear o projeto de mapeamento. Outro aspecto onde predomina o conhecimento empírico na Cartografia, diz respeito à quantidade de feições a serem mapeadas. Estas considerações que têm dominado os procedimentos cartográficos até a atualidade, decorrem da “verdade” intuitiva, de que ‘o melhor mapa seria aquele que representa a superfície terrestre de forma mais completa e fiel possível’. Se ainda não se pode definir com clareza o ‘melhor mapa’, então, propõe-se o desafio, aos profissionais da Cartografia, de identificar e resolver as deficiências do processo de produção das informações cartográficas tais que se possa definir a adequação do mapa.

Segundo TRZESNIAK (1998), outro aspecto relevante na elaboração de um modelo refere-se à identificação da sua natureza, ou seja, a natureza das grandezas consideradas nos modelos, que podem ser ‘determinísticas’ ou ‘estocásticas’. Nos casos das grandezas determinísticas, causa e efeito estão diretamente relacionados. Por

exemplo, o incremento populacional de uma determinada região que mantém inalterado seus limites geográficos acarreta um maior valor na densidade demográfica. A variação de uma causa altera o outro, e normalmente obedecem a uma lei matemática conhecida. Na natureza estocástica a vinculação causa e efeito torna-se indireta, a variação de um resulta na probabilidade do outro surgir ou ser modificado. Assim quando um indicador ou índice se relaciona estocasticamente com o processo em que está inserido, ou que se deseja medir é, certamente, mais fraco, do que um indicador ou índice determinístico. Da mesma forma, quando um determinado processo tiver natureza estocástica, também, estocástico terá de ser o modelo que o irá descrever. Isto implica dizer que o grau de controle e o conhecimento que se tem do processo são menores e mais fracos, se comparados a uma situação determinística.

Os meios e métodos para se atribuir grandezas e quantificar conceitos, fatos ou fenômenos não numéricos variam de acordo com a disponibilidade de informações que se possui a respeito de cada conceito, fato ou fenômeno analisado. Segundo colocações em IATROS (2003), em qualquer tipo de investigação científica, serão coletados ou produzidos dados a serem transformados em informações. Os processos pelos quais isso acontece envolvem a organização, transformação e análise dos dados através de procedimentos lógicos.

Na transformação de dados brutos em informações, são utilizadas ferramentas lógicas como: Indicadores Analíticos, Análise Estatística, e Modelagem Matemática. A importância do conhecimento de como a informação científica é produzida, se dá quando se percebe a necessidade de se expressar hipóteses, teorias, modelos e leis de forma a poderem ser confirmadas ou não de modo experimental. Já os Indicadores costumam ser usados para fins que variam desde resumir um grande conjunto de variáveis até explicitar interações complexas de modo quantitativo. Geralmente são apresentados através de expressões algébricas. A informação fornecida por Indicadores Analíticos é simples e objetiva, geralmente com indicações diretas para a tomada de decisão. A Análise Estatística de dados envolve a aplicação dos conceitos lógico-matemáticos, Probabilidade, Estatística Descritiva, e Estatística

Inferencial. A Modelagem Matemática consiste na produção de um conjunto de equações que refletem as relações e interações entre as variáveis envolvidas num dado fenômeno. A informação produzida pela modelagem matemática deve validar o fenômeno modelado e pode servir para a previsão e/ou controle de variáveis, dependendo da forma como a modelagem é concebida (IATROS 2003).

5 INDICADORES E LÓGICA FUZZY

5.1 INDICADORES

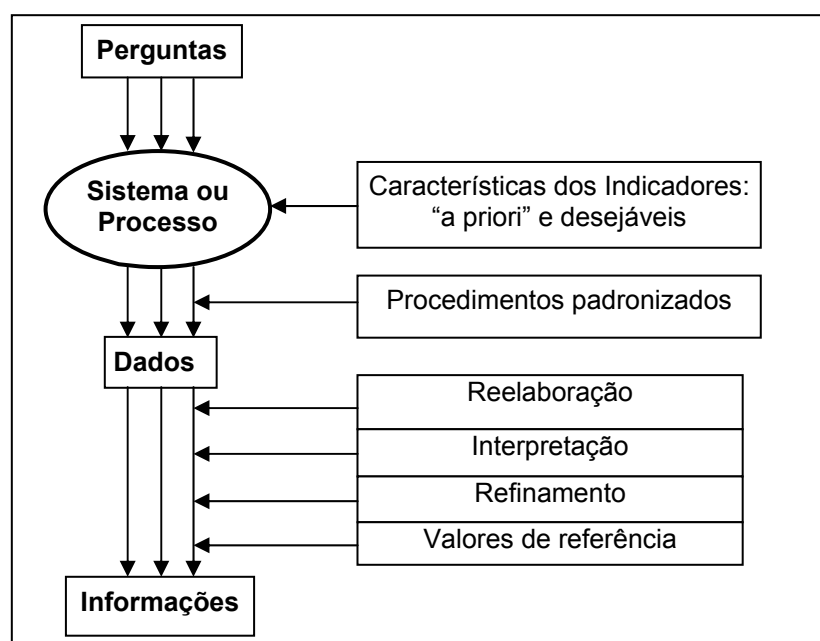
Por Indicador, entende-se ser o elemento formado por um agrupamento e combinação de variáveis de modo a produzir uma nova entidade que possui um significado de interesse particular. Os Indicadores têm sido largamente utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento. Porém, seu uso mais conhecido está em alguns temas, aceitos universalmente, tais como **Índice de Desenvolvimento Humano – IDH; Índice de Condições de Vida – ICV; Indicador de Desenvolvimento Sustentável – IDS, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IATROS 2003)**. Uma das vantagens dos Indicadores está na possibilidade de se efetuar comparações entre questões subjetivas pertencentes a diferentes realidades.

A construção de Indicadores quantitativos obedece a uma seqüência de procedimentos que pode ser representada conforme mostra a Figura 5.1. Na parte central da Figura 5.1, encontra-se o processo de interesse, o qual deve ser observado e estudado. Sob o ponto de vista do pesquisador, estudar este processo significa responder algumas perguntas, tais como: “Como funciona? Em seu comportamento existe uma regra ou uma organização ao alcance da lógica?” TRZESNIAK (1998). As respostas surgirão das informações que se conseguir obter da observação do sistema. Para tanto, inicialmente estabelecem-se “a priori” algumas características desejáveis para os Indicadores, como relevância, gradação de intensidade, univocidade, padronização, estabilidade e rastreabilidade. Com base nestas características extraem-se os dados do sistema, os quais serão re-elaborados, interpretados, refinados e padronizados com alguns valores de referência. O processo se finaliza com a obtenção das informações que se desejou extrair do sistema analisado.

Portanto, a técnica de Indicadores se ajusta à quantificação de conceitos normalmente expressos subjetivamente e permite a manipulação destes conceitos

segundo um “modelo” baseado em experiências e observações de especialistas. Através deste “modelo”, e por meio da combinação entre parâmetros interdependentes, é possível então, se aproximar das condições reais com valores numéricos, e não apenas com dados subjetivos. E é principalmente nesta questão que os Indicadores se tornam atraentes.

FIGURA 5.1 – DIAGRAMA DE CONSTRUÇÃO DE INDICADORES QUANTITATIVOS.



Fonte: TRZESNIAK (1998)

Para qualquer que seja o Indicador, algumas características são comuns e, portanto, devem sempre ser observadas. Tais características podem ser classificadas como: indispensáveis, desejáveis, e de risco. As características indispensáveis devem ser sempre consideradas a priori e verificadas também nos resultados. Segundo TRZESNIAK (1998), estas são:

- a) **Relevância:** que retrata ao Indicador um aspecto importante, essencial, crítico do processo ou sistema;
- b) **Gradação de intensidade:** que permite ao Indicador variar suficientemente no espaço de interesse;
- c) **Univocidade** – que permite retratar com total clareza um aspecto único e bem definido ao Indicador;

- d) **Padronização, Estabilidade** – ou seja, a geração do Indicador deve estar fundamentada em uma norma ou procedimento único, definido e estável no tempo;
- e) **Rastreabilidade** – garantir que os dados, os cálculos, e as pessoas que participaram da observação dos valores ou na obtenção do Indicador sejam devidamente registrados e preservados.

Segundo TRZESNIAK (1998), normalmente as características desejáveis dos Indicadores costumam resultar de esforços de aperfeiçoamento em sua conceituação e obtenção. Muitas vezes inclui-se até mesmo uma mudança maior do próprio significado do que nos números encontrados. Ou seja, os Indicadores devem ter:

- a) **cobertura, abrangência, ou amplitude** - tal que possa ser aumentada com novas aplicações dentro da mesma área do conhecimento;
- b) **portabilidade ou transferência** – o Indicador será mais forte quando o seu uso puder ser estendido para sistemas de outras áreas do conhecimento contíguas à dele;
- c) **invariância de escala** – o Indicador deve manter sua validade e interpretação mesmo em diferentes dimensões do processo.

Na definição de Indicadores, as características de **risco** são vantagens que podem se tornar risco. Portanto, recomenda-se cuidado nas reflexões que antecedem o estabelecimento de Indicadores. Assim, definir Indicadores a partir de dados naturalmente disponíveis no processo é altamente favorável. Porém, não se pode deixar de considerar o ônus que estes irão representar. A questão ainda mais difícil é detectar a necessidade de modificação no sistema para se chegar aos dados brutos. Um outro aspecto refere-se ao cuidado que se deve ter com interpretações pré-concebidas. Obtendo o Indicador, tende-se a lhe atribuir automaticamente o significado que se imaginou ao concebê-lo. Essa atitude deve ser conscientemente evitada, com exames críticos e amplamente discutidos até se chegar a um consenso do seu exato significado. Ainda uma outra questão refere-se a identificar onde está a verdade. A verdade final está sempre com o sistema ou processo. O mais importante é sempre a realidade. Se o

Indicador mostra maus resultados, mas, o sistema encontra-se em funcionamento satisfatório, então, preferencialmente, deve-se considerar o que está ocorrendo no sistema e não os resultados dos Indicadores. Após um Indicador ter seu processo de obtenção padronizado, fica fácil obtê-lo, e torna-se cômodo tê-lo como base para muitas decisões, esquecendo-se que ele não é a realidade, mas uma expressão incompleta de uma parte dela (TRZESNIAK, 1998).

5.2 LÓGICA FUZZY

A dificuldade, ou até mesmo a impossibilidade, de se obter todas as informações e de equacionar a realidade imprecisa do mundo, levou alguns cientistas a propor lógicas alternativas que seriam propícias à representação daquelas situações particulares. Uma destas proposições é a lógica ‘Fuzzy’ de Lotfi A. Zadeh (AZEVEDO et al., 2000).

O termo ‘Fuzzy’ e a formalização dos conjuntos ‘Fuzzy’ foram introduzidos por Lotfi A. Zadeh em 1965, quando ele trabalhava com problemas de classificações de conjuntos que não possuíam fronteiras bem definidas, ou seja, a transição entre os conjuntos deve ser suave e não abrupta. Em muitos problemas em Física e em Matemática não se têm dificuldades em classificar elementos como pertencentes ou não a um determinado conjunto clássico. Dessa forma, dado um conjunto A e um elemento x do conjunto universo U consegue-se muitas vezes dizer se $x \in A$ ou se $x \notin A$. Afirma-se sem receio, por exemplo, que o número 5 pertence ao conjunto dos números naturais e que o número -5 não pertence a este mesmo conjunto. Este é o caso sobre o qual não se tem dúvida, sendo a lógica booleana devidamente aplicada. No entanto, pode-se discordar quanto ao fato de o número 4,5 pertencer ou não ao conjunto dos números ‘aproximadamente iguais a 5’. Neste caso a resposta não é única e objetiva, pertencer ou não ao conjunto poderá depender do tipo de problema que se está analisando. Por exemplo, considera-se a seguinte situação: 4,5 foi a média alcançada nas provas de um aluno extremamente aplicado que está passando por sérios

problemas de saúde e que, em razão disso, apresentou dificuldades para realizar as últimas provas. O professor nesta situação poderá avaliar, considerando a capacidade do aluno, sua dedicação durante o curso e sua realidade optando por aprová-lo ainda que a média necessária seja 5. Neste caso o número 4,5 pode ser visto como pertencente ao conjunto dos números ‘aproximadamente iguais a 5’. De fato, mesmo a aplicação numérica de notas pode não ser um método totalmente objetivo de avaliação (ORTEGA, 2001).

Grande parte dos problemas relacionados com a representação de conhecimento resulta das dificuldades que se tem em expressar, com a precisão desejada, os pensamentos, as sensações ou as percepções do mundo físico que nos rodeia. Uma teoria que permite dar forma matemática às expressões próprias, por exemplo, da linguagem natural, sem diminuir a potência expressiva das mesmas, é a lógica Fuzzy. Através dela pode-se realizar ‘operações com palavras’, onde os conjuntos Fuzzy são os ‘valores’ das palavras. A motivação, por conseguinte, para a utilização de conjuntos ‘Fuzzy’ vem da necessidade de representar proposições do tipo:

- a) Pedro é muito alto.
- b) João está com febre alta.
- c) Maria tem em torno de 30 anos.

Assim, a incerteza, a respeito de uma afirmação, é expressa através de um número que, em vez de probabilidade, exprime a possibilidade da afirmação ser correta. No caso do exemplo, ‘João está com febre alta’, pode-se exprimir a possibilidade da febre pertencer ou não ao conjunto de valores altos. O tratamento da incerteza pode ser necessário em diferentes etapas do manejo do conhecimento, como:

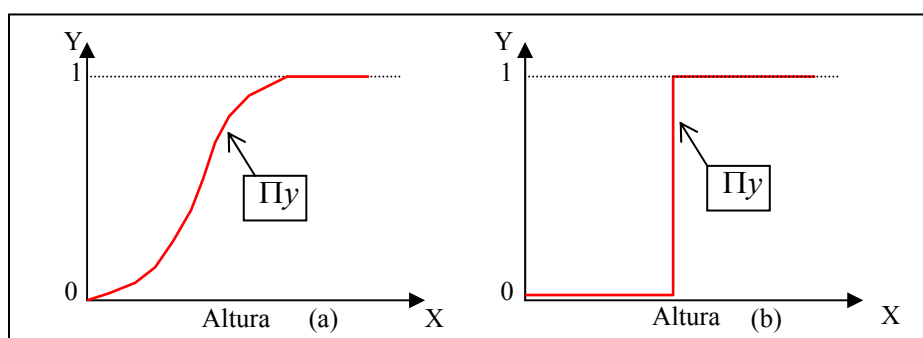
- a) coleta da informação;
- b) definição dos elementos do conhecimento;
- c) combinação de elementos entre si, ou seja, incerteza nas premissas;
- d) formas de obter conclusões, isto é, aplicação de uma regra de raciocínio;
- e) avaliação de uma sequência de regras ou estruturas, como é o caso da

aplicação sucessiva de regras de raciocínio.

Na aquisição de informação, o engenheiro e o próprio especialista deparam-se com informações não facilmente classificáveis como, por exemplo, a caracterização de um sinal como fraco, médio ou forte. Pessoas diferentes certamente discordarão sobre a classificação de alguns sinais. Na definição dos elementos de conhecimento quando a preocupação se concentra em fazer sínteses, por exemplo, conhecer um determinado comportamento a partir de observações isoladas, é freqüentemente necessário recorrer a métodos estatísticos e probabilísticos para depurar índices e freqüências. Na combinação de elementos de conhecimento entre si, permitindo certa conclusão, é onde a presença da incerteza mais se acentua (AZEVEDO, et al., 2000).

Assim, a teoria tradicional dos conjuntos define a pertinência ‘sim’ ou ‘não’ das proposições como ‘Pedro é muito alto’, por exemplo. Por outro lado a teoria ‘Fuzzy’ permite representar a pertinência a um conjunto como uma distribuição de possibilidades, como mostra a Figura 5.2. ZADEH (1965) definiu distribuição de possibilidades da seguinte forma: “Seja Y uma variável com valores em X ; então a distribuição de possibilidade, Π_y , associada com Y , pode ser vista como um intervalo “Fuzzy”, nos valores que podem ser assumidos por Y . Assim, a distribuição é caracterizada por uma função de distribuição de possibilidade $\Pi_y: X \rightarrow [0,1]$, a qual, associa com cada $x \in X$, o grau de possibilidade que Y pode assumir de x como um valor” (AZEVEDO, et al., 2000, p.51).

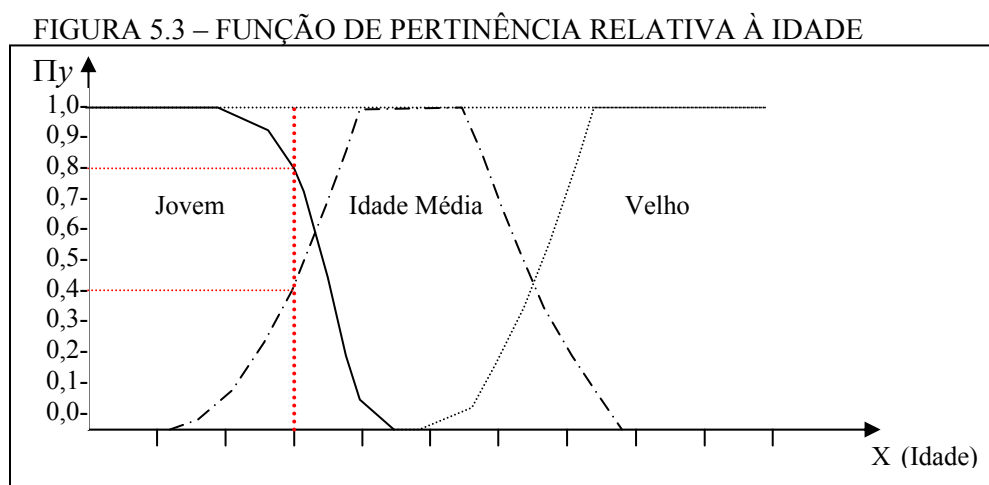
FIGURA 5.2 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DAS PROPOSIÇÕES FUZZY E BOOLEANA



FONTE: ADAPTADO DE AZEVEDO et al. (2000, p.52)

A Figura 5.2(a), mostra o conjunto de pessoas altas, onde o tamanho da pessoa aumenta gradativamente com sua altura até o valor 1 ser alcançado. A Figura 5.2(b) mostra a definição booleana do padrão, abrupto, de pessoas altas, onde para uma pessoa ser alta ou não, há um valor de altura específico que define o limite.

Então, a teoria da lógica Fuzzy leva em consideração esse tipo de incerteza, porém, restrita para o intervalo $[0, 1]$. Essa lógica implica na representação de incerteza por um grau expresso pelo valor de uma função de pertinência (grau de pertinência, grau de compatibilidade ou grau de verdade). Esta função de pertinência pode expressar o grau de um elemento pertencer a um determinado conjunto, como por exemplo, ‘Maria tem em torno de 30 anos’ de acordo com a Figura 5.3 (AZEVEDO, et al., 2000). Neste caso observa-se que Maria pertence ao conjunto ‘jovem’ com um grau de pertinências (0,8) relativamente maior do que pertence ao conjunto ‘Idade Média’, cujo grau de pertinência é (0,4) menor.



FONTE: ADAPTADO DE AZEVEDO, et al. (2000, p.52)

Existem, no universo, inúmeras situações em que a relação de pertinência não é bem definida e, nestes casos, não se sabe dizer se o elemento pertence ou não a um dado conjunto. A intenção de Zadeh foi flexibilizar a pertinência de elementos aos conjuntos criando a idéia de ‘grau de pertinência’. Desta forma, um elemento poderia pertencer parcialmente a um dado conjunto. Esta idéia foi publicada em 1965 e foi considerada como o marco do nascimento da teoria de conjuntos Fuzzy (ORTEGA, 2001). O termo ‘Fuzzy’ significa nebuloso, difuso, e se refere ao fato de, em muitos

casos, não se conhecer completamente os sistemas que se está analisando.

A teoria da lógica Fuzzy tem sido desenvolvida para lidar com o conceito de verdade parcial, ou seja, com valores de verdade entre o ‘completamente verdadeiro’ e o ‘completamente falso’ da lógica booleana. Pode-se perceber que poucos são os casos do cotidiano em que se tem total certeza sobre as coisas e fatos, o que faz com que as atividades humanas sejam baseadas em tomadas de decisão considerando a ‘verdade parcial’ existente. Neste sentido, dificilmente pode-se considerar uma pessoa ‘completamente doente’ ou ‘completamente saudável’, existe um espaço amplo de considerações a serem feitas entre os dois extremos. Da mesma forma, também, é difícil considerarmos um mapa ‘completamente acurado’ ou ‘completamente não acurado’.

Segundo MIRANDA (1998), o controle difuso introduziu também uma forma de capturar a experiência de operadores humanos, através de expressões qualitativas ou lingüísticas, o que não é facilmente realizável pelas técnicas clássicas de base matemática analítica.

A lógica Fuzzy difere da lógica convencional, principalmente porque permite a consideração de valores entre ‘Falso’ e ‘Verdadeiro’, possibilitando inclusive trabalhar com variáveis lingüísticas. Ela pode ser considerada como uma das ferramentas matemáticas mais poderosas para lidar com incertezas, imprecisões e verdades parciais, permitindo o tratamento de problemas do mundo-real muitas vezes com soluções de baixo custo.

A teoria dos conjuntos Fuzzy tem sido amplamente utilizada em trabalhos de inferência espacial desenvolvidos em SIG's segundo autores¹⁰ citados por MOREIRA, et al., (2002). As vantagens da modelagem Fuzzy são inúmeras, quando comparadas às

¹⁰ ALTMAN, D. Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in spatial analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.8, p.271-279, 1994. / BANAI, R. Fuzziness in Geographical Information System: contributions from analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.7, p.315-329, 1993. / BURROUGH, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, n.40, p.477-492, 1989. / BURROUGH, P. A., HEUVELINK, G. B. M. The sensitivity of Boolean and continuous (Fuzzy) logical modeling to uncertain data. In: *EGIS 92*, 1992. Munich, Germany. *Proceeding. Munich: EGIS 92*, 1992. v.1, p.1032-1041.

modelagens convencionais que impõem aos especialistas definir regras dicotômicas rígidas, o que diminui a habilidade de articular eficientemente soluções para problemas complexos, tão comuns em fenômenos naturais. Entretanto essa visão dicotômica (booleana) é assumida pela maioria dos SIG's, admitindo-se que fenômenos naturais possam ser modelados por objetos discretos com atributos precisos, tais como pontos, linhas e polígonos. Os sistemas de inferência baseados em lógica Fuzzy, por outro lado, possibilitam a captura do conhecimento de maneira mais similar àquela adotada em 'modelos cognitivos', ou seja, em modelos representativos do pensamento os quais podem ser representados através de variáveis lingüísticas.

5.2.1 Alguns Conceitos da Teoria Fuzzy

Os conjuntos claramente definidos na teoria clássica dos conjuntos têm como função característica o valor 1 ou 0 atribuído a cada possível membro para declarar sua pertinência ou não ao conjunto referido. Essa função pode ser generalizada de forma que esses valores significativos de pertinência ou não ao conjunto estejam dentro de um especificado intervalo $[0, 1]$, de tal forma que os maiores valores indicam mais altos graus de pertinência ao conjunto considerado. Assim essa função (membership function) é chamada 'função de pertinência' ou 'função pertença', e o conjunto definido por ela é o 'conjunto Fuzzy' (KLIR & FOLGER, 1988).

Sendo U um conjunto universo, então a função de pertinência μ_A pela qual um conjunto Fuzzy A é usualmente definido tem a forma:

$$\mu_A(x) : U \rightarrow [0, 1], \quad (5.1.)$$

onde $[0, 1]$ denota o intervalo dos números reais de 0 a 1 inclusive (KLIR & FOLGER, 1988, p.10). Ou seja, considera-se um contínuo de valores de pertinência e não apenas pertence e 'não pertence'. O elemento 'x' pertencerá ao subconjunto A com um grau de pertinência que é um valor no intervalo $[0, 1]$ (ORTEGA, 2001, p.20).

A definição, as propriedades e as operações dos conjuntos Fuzzy são obtidas da generalização da teoria de conjuntos clássicos, recaiando esta em um caso particular

da teoria de conjuntos Fuzzy (ORTEGA, 2001). Sendo que a teoria dos conjuntos clássicos está baseada na função característica clássica, dada por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases} \quad (5.2.)$$

onde U é o conjunto Universo, A é um sub-conjunto de U e x é um elemento de U, tem-se que a função característica é um mapeamento do conjunto universo no conjunto $\{0, 1\}$. Essa função característica discrimina entre todos os elementos de U aqueles que, segundo algum critério, pertence ou não ao subconjunto A, dividindo o conjunto universo em duas partes com fronteira absolutamente definida. Um conjunto Fuzzy A em um conjunto universo U é um conjunto de pares ordenados de um elemento genérico x e seu grau de pertencimento $\mu_A(x)$ da forma:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\} \quad (5.3.)$$

5.2.2 A Teoria de Conjuntos Fuzzy e a Teoria de Probabilidade

É comum que na apresentação da teoria de conjuntos Fuzzy confunda-se esta com a teoria de probabilidades. Frequentemente troca-se ‘grau de pertinência’ por ‘probabilidade’, e pensa-se na função de pertinência como sendo uma função de distribuição estatística. Esta confusão surge pela proximidade existente entre as duas teorias e, sob certos aspectos a teoria Fuzzy se apresenta muito similar a teoria de probabilidades. No entanto a teoria de probabilidades e a teoria de conjuntos Fuzzy lidam, em geral, com tipos de incerteza distintos. Na teoria de probabilidades tem-se a incerteza na ocorrência do evento. Uma vez que o evento ocorreu não existirá mais dúvida alguma. No caso do grau de pertinência a incerteza existe após a ocorrência do evento, ou seja, ocorrido o evento tem-se dificuldades na interpretação do resultado. Necessita-se saber qual é a pergunta a ser argüida e como respondê-la, aplicando-se para este caso, mais apropriadamente a lógica Fuzzy. Assim, as teorias de probabilidade e da lógica Fuzzy têm-se demonstrado ser muito mais complementares do que concorrentes (ZADEH, 1965). Outra diferença imediatamente perceptível é que

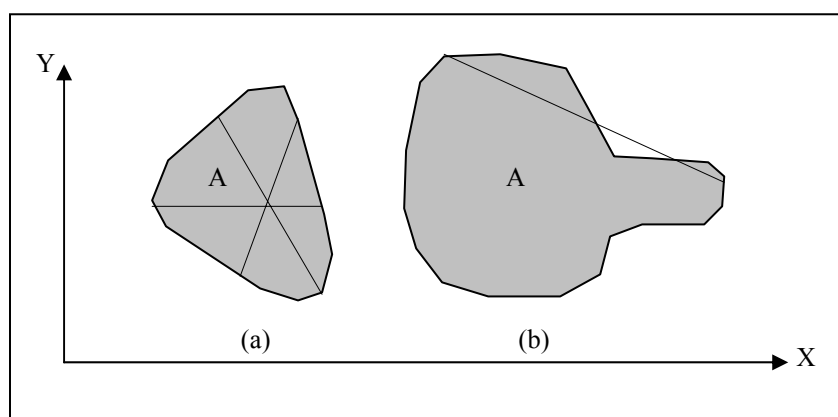
a soma das probabilidades sobre o definido conjunto universo deve ser igual a 1, enquanto que isso não é requisito obrigatório aos graus de pertinência (membership) definidos por um conjunto Fuzzy (KLIR & FOLGER, 1988).

Um conjunto Fuzzy é convexo se e somente se para qualquer x ao longo de qualquer reta que liga as extremidades do conjunto A for pertencente a A . Ou seja, se e somente se para algum $x_i \in A$ e algum $\lambda \in [0, 1]$,

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min \mu_A(x_1), (x_2) \quad (5.4.)$$

Alternativamente, A é convexo se todos os conjuntos de linhas de corte são convexos (ou, se todos os pontos ao longo de todas as linhas de corte estiverem contidas em A), conforme mostra a Figura 5.4(a). A maioria dos conjuntos Fuzzy usados na literatura satisfazem as condições para normalidade e convexidade (AZEVEDO, et al., 2000). Lembrando que um conjunto Fuzzy é normal se seu centro é não vazio, ou seja, sempre será possível encontrar um ponto $x \in A$ tal que $\mu_A(x) = 1$.

FIGURA 5.4 – CONJUNTOS FUZZY: (a) CONVEXO, (b) NÃO CONVEXO



FONTE: ADAPTADO DE KLIR & FOLGER (1988, p.5)

A altura ‘h’ de um conjunto Fuzzy A corresponde ao maior valor de pertencimento assumido pela sua função de pertinência (ORTEGA, 2001):

$$h(A) = \max \{ \mu_A(x) \mid x \in A \} \quad (5.5.)$$

Um ponto de cruzamento (*crossover*) de um conjunto Fuzzy A é um ponto $x \in A$ no qual $\mu_A(x) = 0,5$ (AZEVEDO, et al., 2000):

$$\text{crossover}(A) = \mu_A(x) = 0,5 \mid x \in A \quad (5.6.)$$

A largura ‘l’ de um conjunto Fuzzy A é definida como a distância entre os únicos dois pontos de cruzamento (AZEVEDO, et al., 2000):

$$l(A) = [x_2 - x_1] \mid x_1 \text{ e } x_2 \in A \quad (5.7.)$$

O núcleo (*core*) de um conjunto Fuzzy A é o conjunto rígido de todos os pontos x em U tais que $\mu_A(x) = 1$, definido por (AZEVEDO, et al., 2000):

$$\text{core}(A) = \mu_A(x) = 1 \mid x \in A \quad (5.8.)$$

O suporte de um conjunto Fuzzy A é o conjunto de todos os pontos x sequenciais em A tais que os valores de pertinência sejam maiores que zero (AZEVEDO, et al., 2000):

$$\text{Suporte}(A) = \mu_A(x) > 0 \mid x \in A \quad (5.9.)$$

O conjunto de *corte* $-\alpha$ de um conjunto Fuzzy A é um conjunto abrupto definido por (AZEVEDO, et al., 2000):

$$A_\alpha = \mu_A(x) \geq \alpha \mid x \in A \quad (5.10.)$$

5.2.3 Medida e Operações Fuzzy

O conceito de ‘medida Fuzzy’ foi introduzido por SUGENO¹¹ citado por ORTEGA, (2001) e consiste numa forma natural para se avaliar graus de incertezas, principalmente quando tais valores dependem da subjetividade de quem está

¹¹ SUGENO M. Theory of Fuzzy integrals and its applications. Tese de doutorado, Instituto de Tecnologia de Tokio, Tokio, Japão. 1974

realizando a medida. Um conjunto Fuzzy é caracterizado por uma função de pertinência, cujo grau de pertinência pode ser considerado como uma medida que expressa a possibilidade de que um dado elemento seja membro de um conjunto Fuzzy.

Assim como em conjuntos Booleanos, dados em conjuntos Fuzzy podem ser manipulados utilizando métodos lógicos para selecionar e combinar dados provenientes de vários conjuntos. As operações básicas sobre subconjuntos Fuzzy são similares além de serem uma generalização das operações básicas da lógica binária. Estas operações podem ser utilizadas de forma a se obter um dado resultante da sobreposição de vários dados Fuzzy. Os seguintes operadores Fuzzy: OR, AND, Complemento, Soma Algébrica, e Produto Algébrico são descritos a seguir. Sejam A e B subconjuntos de U, e μ_A , μ_B são valores de pertinência dos conjuntos A e B, para um dado universo U. Então, tem-se respectivamente (CÂMARA, et al., 2004, p.9-10 – 9-12. e ORTEGA, 2001, p.20-22):

- a) Fuzzy OR (união ' \cup ', Fig. 5.5a) – o Fuzzy OR é como o OR Booleano, onde o valor de pertinência de saída é controlado pelos valores máximos de entrada. A única propriedade que a operação união exige é apenas que o operador retorne 1 se pelo menos um dos argumentos for 1, e 0 se ambos forem 0:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (5.11.)$$

- b) Fuzzy AND (intersecção ' \cap ', Fig. 5.5b) – esta operação equivale ao AND Booleano. A intersecção significa uma seqüência de 'AND' e é obtida através do operador MIN (mínimo). A única propriedade que a operação intersecção deve satisfazer é retornar 1 quando ambos os argumentos são 1, e 0 quando algum dos argumentos é 0. Ou seja, num conjunto de valores de pertinência de um dado elemento, o operador AND retorna o valor mínimo:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (5.12.)$$

- c) Complemento ($\mu_{\bar{A}}$, Fig. 5.5c) – são todos os elementos do conjunto U que não pertencem ao conjunto A:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (5.13.)$$

- d) Produto Algébrico Fuzzy (μ_p) – a função de pertinência, neste caso, é dada por:

$$\mu_p = \prod_{i=1}^n \mu_i, \quad (5.14.)$$

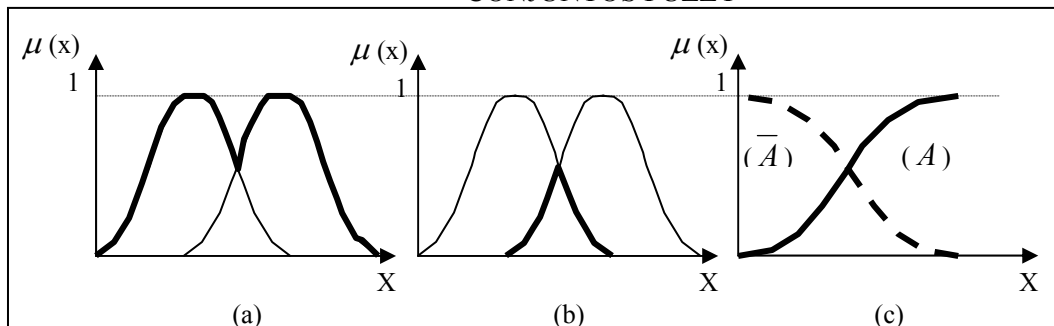
onde μ_i é o valor de pertinência Fuzzy para o i-ésimo elemento e $i = 1, 2, \dots, n$. Os valores de pertinência tendem a ser muito pequenos quando se utiliza este operador, devido ao efeito de se multiplicar diversos números menores do que 1.

- e) Soma Algébrica Fuzzy (μ_s) – este operador é complementar ao Produto Algébrico Fuzzy, e é representado por:

$$\mu_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (5.15.)$$

O resultado desta operação é sempre um valor maior ou igual ao maior valor de pertinência Fuzzy de entrada. O efeito desta operação é, portanto, de aumentar o valor de pertinência. Observa-se que o produto algébrico Fuzzy é um produto algébrico, porém, a soma algébrica Fuzzy, não é uma simples soma algébrica (CÂMARA, et al., 2004).

FIGURA 5.5: EXEMPLO DE UNIÃO (a), INTERSEÇÃO (b) E COMPLEMENTO (c) DE CONJUNTOS FUZZY



FONTE: ADAPTADOS DE ORTEGA (2001, p.23-24)

5.2.4 Funções Fuzzy

Segundo ORTEGA (2001), para a representação de um conjunto Fuzzy discreto pode-se apenas enumerar os seus elementos juntamente com seus graus de pertinência, na forma:

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) / x_i \quad (5.16.)$$

para $i = 1, 2, 3, \dots, n$

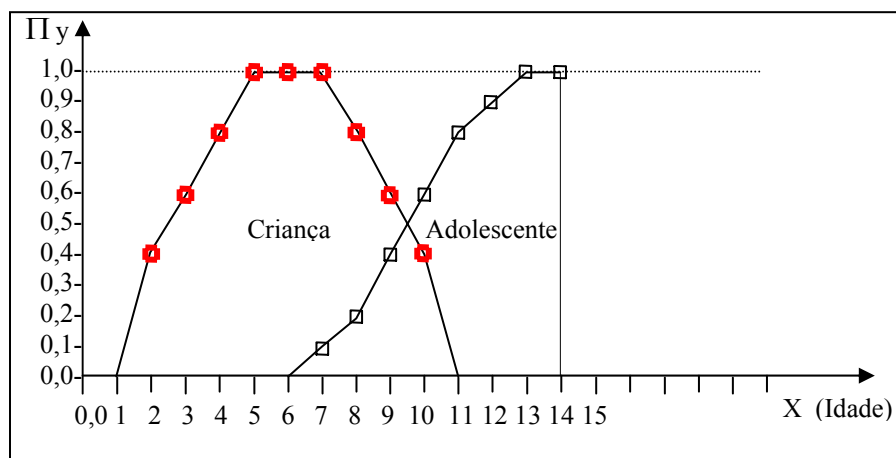
onde a somatória se refere a operação união (disjunção) e a notação $\mu_A(x_i) / x_i$ se refere ao elemento x_i que pertence ao conjunto Fuzzy A com grau $\mu_A(x_i)$. Em geral, por simplicidade, somente são listados no conjunto aqueles elementos cujos graus de pertinência são diferentes de zero. Exemplo, considerando-se o conjunto universo de discurso discreto composto pelos indivíduos com idade entre 1 e 24 anos: $U = \{1, 2, \dots, 24\}$, e os conjuntos Fuzzy A e B abaixo que designam, respectivamente, as ‘crianças’ e os ‘adolescentes’:

$A = \{0,4/2 + 0,6/3 + 0,8/4 + 1,0/5 + 1,0/6 + 1,0/7 + 0,8/8 + 0,6/9 + 0,4/10\}$;

$B = \{0,1/7 + 0,2/8 + 0,4/9 + 0,6/10 + 0,8/11 + 0,9/12 + 1,0/13 + 1,0/14\}$.

A Figura 5.6 representa graficamente estes conjuntos:

FIGURA 5.6 – CONJUNTOS FUZZY REPRESENTANDO CRIANÇAS E ADOLESCENTES

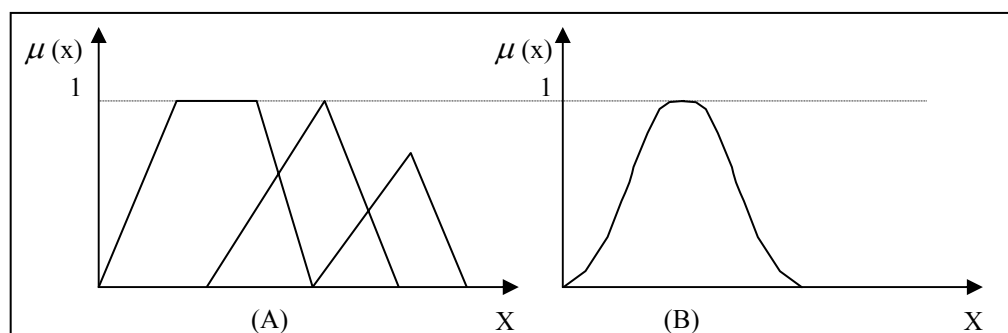


FONTE: (ORTEGA, 2001, p.21)

Quando os conjuntos Fuzzy são contínuos sua representação é a própria função de pertinência. As formas para as funções de pertinência são totalmente arbitrárias. Todavia as funções mais utilizadas são: linear por partes (triangular ou trapezoidal), quadrática, e gaussiana (ORTEGA, 2001. p.21).

As funções Fuzzy ou funções de pertinência determinam o comportamento da variável. As funções lineares por partes são as mais populares devido a sua simplicidade, e ao fato de que o custo computacional adicional exigido pelos outros tipos de funções não reflete, em geral, em uma melhoria significativa na qualidade dos valores de saída dos sistemas (YEN & LANGARI¹², apud ORTEGA 2001, p.22). Segundo BURROUGH & McDONNELL (1998), a seleção da função de pertinência para os conjuntos Fuzzy são tão indefinidas quanto os limites dos conjuntos Fuzzy. O problema da escolha das funções de pertinência não foi ainda resolvido teoricamente e elas permanecem sendo escolhidas de acordo com a aplicação e contexto do problema abordado (REZNIK¹³, apud ORTEGA 2001, p.22). As Figuras 5.7 (A) e (B) representam alguns exemplos de funções de pertinência linear por partes e gaussiana, respectivamente.

FIGURA 5.7- FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA: (A) LINEARES; (B) GAUSSIANA



FONTE: ADAPTADOS DE ORTEGA (2001, p.22)

¹² YEN J. & LANGARI R. Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information. Prentice Hall, EUA. 1999.

¹³ REZNIK L. Fuzzy Controllers. Newnes, Reino Unido, 1997.

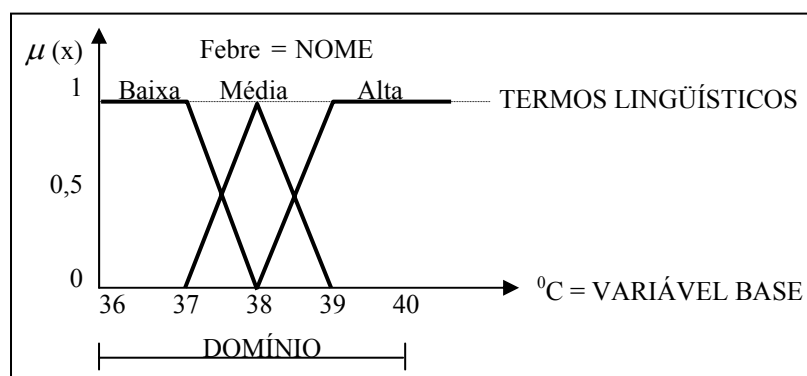
Na lógica Fuzzy, assim como na clássica, os operadores de intersecção e união correspondem respectivamente aos operadores lógicos de conjunção (**AND**) e disjunção (**OR**), sendo que a escolha de um operador conjunção “define” qual será o operador disjunção, e vice-versa. O par de operadores mais amplamente utilizado nas técnicas Fuzzy são o operador **min** (mínimo) para conjunção e o **max** (máximo) para disjunção Fuzzy.

Uma das consequências da definição de conjuntos Fuzzy em contraste com os conjuntos clássicos é a Lei do Meio Excluído e a Lei da Contradição. Classicamente tem-se que $A \cup \bar{A} = U$ e $A \cap \bar{A} = 0$. Todavia, devido a flexibilidade da função característica isso não ocorre com os conjuntos Fuzzy, pois nestes, $A \cup \bar{A} \neq U$ e $A \cap \bar{A} \neq 0$, isso se deve ao fato de existirem incertezas não estatística e imprecisões no processo (ORTEGA, 2001).

5.2.5 Variáveis Lingüísticas

Uma variável lingüística Fuzzy é uma variável cujo valor é expresso qualitativamente por um termo lingüístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência. Uma variável lingüística é caracterizada por $\{n, T, X, m(t)\}$ onde n é o nome da variável (por exemplo, velocidade, temperatura, etc.), T é o conjunto de termos lingüísticos de n (alta, média, baixa), X é o domínio (Universo) de valores de n sobre o qual o significado do termo lingüístico é determinado (velocidade pode estar entre 40 e 110 km/h, por exemplo) e $m(t)$ é uma função semântica que assinala para cada termo lingüístico $t \in T$ o seu significado, que é um conjunto Fuzzy em X (ou seja, $m: T \rightarrow (X)$ onde X é o espaço dos conjuntos Fuzzy) (ORTEGA, 2001). A Figura 5.8 mostra um exemplo de variável lingüística.

FIGURA 5.8 – EXEMPLO DE VARIÁVEL LINGÜÍSTICA



FONTE: ORTEGA (2001, p. 27)

Por exemplo, o nome (n) da variável é 'febre'. Os termos linguísticos $t \in T$ que atribuem um significado semi-quantitativo a 'febre' são 'baixa', 'média' e 'alta'. O domínio (X) da variável é o intervalo $[36, 40]$. Cada termo linguístico tem a ele associado um conjunto Fuzzy $m(t)$ que o caracteriza. Cabe lembrar que na formulação clássica, os termos linguísticos atribuídos para 'febre' são 'presente' ou 'ausente'.

É oportuno citar que de acordo com LEE¹⁴ citado por QUEIROZ, et al., (2003), a escolha das funções de pertinência para os termos linguísticos desempenha papel importante no sucesso da aplicação, porém, são definidas subjetivamente, baseando-se na experiência e no senso prático.

Os termos linguísticos são usados para expressar conceitos e conhecimentos na comunicação humana, e em muitas áreas eles são a forma mais importante (quando não única) de quantificar os dados ou a informação. As variáveis linguísticas são expressas dentro de um certo domínio de valores. Em geral é o especialista que define esse domínio e realiza sua partição Fuzzy. Nesse contexto, o papel do especialista torna-se fundamental na modelagem Fuzzy. As variáveis numéricas expressam o seu valor e utilidade e são amplamente empregadas nas ciências exatas (Engenharia, Física, Matemática, etc.), porém, as variáveis simbólicas têm conquistado cada vez maior importância devido ao desenvolvimento das áreas de inteligência artificial e processos de decisão. A capacidade de combinar variáveis simbólicas (linguísticas) e

¹⁴ LEE, C. C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller – part I & part II. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v.20, n.2, p. 404-434, 1990.

numéricas é uma das principais razões do sucesso das aplicações da lógica Fuzzy em sistemas inteligentes (ORTEGA, 2001, p.26-28).

5.2.6 Regras Fuzzy

As regras Fuzzy são estruturas vastamente utilizadas em várias abordagens da teoria Fuzzy, podendo ser entendidas de diversas maneiras. Conceitualmente, as regras Fuzzy descrevem situações específicas que podem ser submetidas às análises de um painel de especialistas, e cuja inferência conduz a algum resultado desejado. A inferência baseada em regras Fuzzy pode também ser compreendida como uma função que mapeia um conjunto de entradas do sistema para um conjunto de saídas. A regra Fuzzy é uma unidade capaz de capturar algum conhecimento específico, e um conjunto de regras é capaz de descrever um sistema em suas várias possibilidades. Cada regra Fuzzy, da mesma forma de uma afirmação clássica, é composta por uma parte antecedente (a parte '*If*') e uma parte conseqüente (a parte '*Then*'), resultando em uma estrutura da seguinte forma:

If {antecedentes} Then {conseqüentes}. (5.17.)

Os antecedentes descrevem uma condição (premissas), enquanto a parte conseqüente descreve uma condição ou uma ação que pode ser esboçada quando as premissas se verificam. A diferença entre os antecedentes de uma regra Fuzzy e uma regra clássica é que os primeiros descrevem uma condição elástica, ou seja, que pode ser parcialmente satisfeita, enquanto os últimos descrevem uma condição rígida (a regra não se aplica, os antecedentes não são completamente satisfeitos). Os antecedentes definem uma região Fuzzy no espaço das variáveis de entrada do sistema, enquanto que os conseqüentes descrevem uma região no espaço das variáveis de saída do sistema, qual seja a sua conclusão ou ação. Sendo assim, a construção dos antecedentes muitas vezes resulta em um trabalho de classificação, enquanto a elaboração dos conseqüentes exige um conhecimento, ainda que empírico, sobre a dinâmica do sistema.

Uma vez construído o conjunto de regras Fuzzy necessita-se de uma “máquina de inferência” para extrair a resposta final. Existem vários métodos de inferência possíveis e a escolha por um deles depende do sistema que se está analisando. No entanto, a inferência mais comum, e amplamente utilizada no controle de sistemas, é o Método de Mamdani. As regras são processadas em paralelo, ou seja, todas as regras (circunstâncias) são consideradas ao mesmo tempo, e ao final obtém-se uma resposta que pode ser tanto um valor numérico clássico, quanto um conjunto Fuzzy, dependendo do tipo de conseqüentes utilizados. Às vezes é necessário que a saída do sistema seja um número, o que é muito comum em controladores Fuzzy, pois o sistema precisa ser re-alimentado. Nestes casos, se a saída do sistema for um conjunto Fuzzy, então se faz necessário um processo de defuzzificação para se obter um número representativo do conjunto (ORTEGA, 2001, p.29-30).

5.2.7 Sistema de Inferência Fuzzy - SIF

Inferência Fuzzy é o processo de mapeamento de uma dada entrada para uma saída usando lógica Fuzzy. O mapeamento, então, providencia as bases nas quais as decisões podem ser feitas, ou padrões podem ser definidos. O processo de inferência Fuzzy envolve: função de pertinência, operadores da lógica Fuzzy e as regras IF-THEN. Há, basicamente, dois tipos de sistemas de inferência Fuzzy (SIF) que podem ser implementados na lógica Fuzzy: o tipo Mamdani e o tipo Sugeno. Estes dois tipos variam no modo em que as saídas são determinadas (MATHWORKS, 2000).

Os SIFs têm sido aplicados com sucesso em campos como controle automático, classificação de dados, análise de decisão, sistemas especialistas e visão computacional. Por causa da sua natureza multidisciplinar os SIF são associados com uma diversidade de nomes, tais como: ‘Fuzzy-rule-based systems’, ‘Fuzzy expert systems’, ‘Fuzzy modeling’, ‘Fuzzy associative memory’, ‘Fuzzy logic controllers’, e simplesmente ‘Fuzzy systems’. O método Mamdani de sistema de inferência é o mais freqüentemente encontrado na metodologia Fuzzy. Este método foi o primeiro sistema

de controle construído usando a teoria de conjuntos Fuzzy. Foi proposto em 1975 por Ebrahim Mamdani como uma tentativa de controle de máquina a vapor e combinação de caldeiras através da sintetização de um conjunto de regras de controle lingüístico obtido por operadores especialistas humanos. O esforço de Mamdani foi baseado no artigo '*Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*' de Lotfi Zadeh de 1973 sobre algoritmos Fuzzy para sistemas complexos e processos de decisão. O SIF do tipo Mamdani espera que a função de pertinência resultante seja um conjunto Fuzzy. Após o processo de agregação, há um conjunto Fuzzy para cada uma das variáveis de saída que necessita de defuzzificação, ou seja, de um valor de saída do sistema. Isto é possível, e em muitos casos deve ser mais eficiente, usar um simples ponto, ou um único valor, como a função de pertinência da saída resultante ao invés de um conjunto Fuzzy distribuído. Isto é algumas vezes conhecido como uma função de pertinência de saída 'singleton' e pode ser considerado como um conjunto Fuzzy pré-defuzzificador. Isso aumentou a eficiência do processo de defuzzificação por ter simplificado o cálculo requerido pelo mais genérico método Mamdani o qual encontra o centróide de uma função bi-dimensional. O sistema do tipo Sugeno, ao invés de integrar a função bidimensional para encontrar o centróide, usa o cálculo da média ponderada de alguns poucos pontos, reduzindo o custo computacional (MATHWORKS, 2000).

A base do conhecimento do processamento SIF divide-se em três etapas:

- a) base de dados: contém a descrição de todas as funções de pertinência usadas nos antecedentes e consequentes das regras estabelecidas. Por exemplo, conjunto nebuloso (Fuzzy) relativo ao grau de 'qualidade' atribuído a um determinado produto, onde tal qualidade tenha sido definida pelas variáveis antecedentes 'atualidade' e 'funcionalidade' do produto. Assim, a base de dados é composta pelos conjuntos Fuzzy de entrada: 'atualidade' e 'funcionalidade', e pelos conjuntos Fuzzy, consequentes, de saída que definem a classificação quanto à 'qualidade' do produto em questão;

- b) base de regras: é a forma como a representação do conhecimento fica armazenada em um SIF. Por exemplo, se a ‘atualidade é alta’ e a ‘funcionalidade é boa’, então, o produto é de ‘boa qualidade’;
- c) descrição dos operadores: define o tipo de função utilizada para os operadores de interseção e união entre os conjuntos nebulosos. Por exemplo, na definição da ‘qualidade’ (de algo), a qual não se recomenda a superestimação, processa-se a operação de interseção entre os valores considerados visando garantir o valor mínimo. Então, a interseção será feita através do produto entre conjuntos definidos pelas funções que mais se aproximam do comportamento de cada variável envolvida. Para o caso da determinação do tempo de transporte necessário entre dois pontos, por exemplo, caso em que se recomenda a superestimação, processa-se a operação de união entre os conjuntos relativos às variáveis consideradas para se garantir o valor máximo ao resultado. Essas variáveis devem ser definidas por funções que resultem, pela união, no comportamento mais próximo da realidade considerada.

O procedimento de inferência é usado para derivar conclusões a partir de um conjunto de regras Fuzzy do tipo *IF-THEN* e uma ou mais condições. Pode-se dizer que as regras traduzem o conhecimento enquanto que a inferência traduz o modo de raciocinar. O ponto central do raciocínio Fuzzy é composto pelas proposições, que são as declarações que relacionam as variáveis utilizadas no modelo com os conjuntos Fuzzy, e possui o seguinte formato básico:

PROPOSIÇÃO = ANTECEDENTE + CONSEQUENTE, ou

IF x_1 is A_1 **AND** x_2 is A_2 **THEN** y is B (5.18.)

5.2.8 Modelos Lingüísticos Tipo Mamdani

Segundo ORTEGA (2001, p.43), o modelo lingüístico Mamdani refere-se aos modelos lingüísticos cuja saída é construída pela superposição dos conseqüentes das regras individuais. Nesta forma, cada regra:

$$\text{IF } U \text{ is } B_i \text{ AND } V \text{ is } D_i \text{ (SE } U \text{ é } B_i \text{ E } V \text{ é } D_i) \quad (5.19.)$$

é expressa como uma relação Fuzzy R_i que é interpretada como o produto cartesiano dos conjuntos Fuzzy B_i e D_i ,

$$R_i = B_i \times D_i \quad (5.20.)$$

isto é, a relação R_i gera um subconjunto de $X \times Y$, e cuja função de pertinência é

$$R_i(x,y) = B_i(x) \wedge D_i(y), \quad (5.21.)$$

Onde \wedge é o operador (AND) de conjunção Fuzzy, ‘min’.

Logo se percebe da expressão (5.20) que a relação R_i ocupa uma região no espaço do produto cartesiano $X \times Y$, como mostra a Figura 5.12, com distribuição de possibilidade dada pela própria expressão (5.20).

Neste modelo, a agregação do conjunto de regras é realizada através do operador união (operador OR em 5.12) sobre todas as relações individuais, o que caracteriza o caráter construtivo desse tipo de modelo. Assim,

$$R = \bigcup_{i=1}^m R_i, \quad (3.22.)$$

e a função de pertinência $R(x, y)$ da relação Fuzzy R é

$$R(x, y) = \vee_i R_i(x, y) = \vee_{i=1}^m (B_i(x) \wedge D_i(y)), \quad (3.23.)$$

onde \vee é um operador (OR) de disjunção Fuzzy, ‘max’.

Assim, para um dado conjunto Fuzzy A de entrada, o conjunto Fuzzy de saída F será obtido através da regra de inferência max-min e a função de pertinência será:

$$F(y) = \vee_x [A(x) \wedge R(x, y)] = \vee_x [\vee_{i=1}^m (A(x) \wedge R_i(x, y))] \quad (5.24.)$$

$$= \vee_{i=1}^m [(\vee_x [A(x) \wedge B_i(x)]) \wedge D_i(y)] = \vee_{i=1}^m [\tau_i \wedge D_i(y)] \quad (5.25.)$$

onde τ_i é o ‘grau de ativação’ da i -ésima regra, chamado *dof* (*degree of firing*), que

denota a possibilidade de B_i dado A (YAGER & FILEV¹⁵, apud ORTEGA, 2001, p.44).

$$\tau_i = Poss[B_i | A] = \bigvee_x [B_i(x) \wedge A(x)] \quad (5.26.)$$

No caso em que o valor de entrada é um número x^* , ou seja, a função de pertinência de A é: $A(x) = 0$ se $x \neq x^*$; ou $A(x) = 1$ se $x = x^*$; então, o grau de ativação *dof* torna-se:

$$\tau_i = Poss[B_i | A] = B_i(x^*) \quad (5.27.)$$

O algoritmo usado para calcular a saída de um modelo lingüístico através do modelo de Mamdani, considerando uma entrada $U = A$ ou $U = x^*$, é o seguinte:

a) Para cada regra do Modelo Lingüístico (ML):

- calcula-se o *dof*, τ_i , da regra: $\tau_i = \bigvee_x [B_i(x) \wedge A(x)]$ se a entrada é um conjunto Fuzzy, ou $\tau_i = B_i(x^*)$ se a entrada é um número x^* .

- obter o conjunto Fuzzy F_i referente a i -ésima regra:

$$F_i(y) = \tau_i \wedge D_i(y).$$

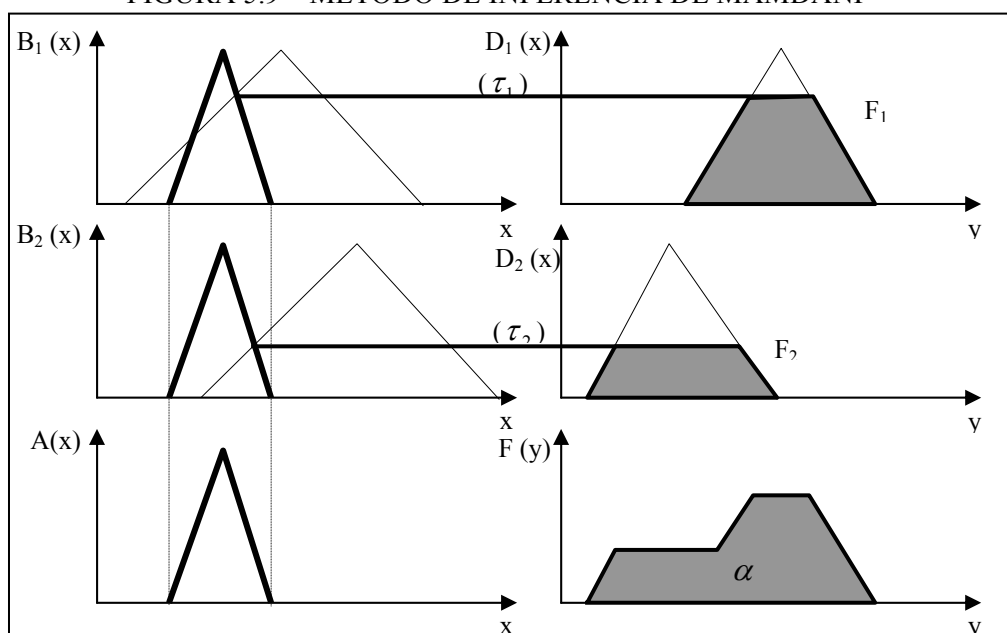
b) Agregar os conjuntos Fuzzy F_i de saída utilizando a operação união, ou o

$$\text{'max'}: F(y) = \bigvee_{i=1}^m F_i(y) \quad (5.28.)$$

A Figura 5.9 apresenta de forma gráfica um exemplo de aplicação do método de inferência de Mamdani de um ML com apenas uma entrada e uma saída, com duas regras (B_1 e B_2), quando a entrada é um conjunto Fuzzy. Na Figura 5.12 está representada a interseção do conjunto de entrada com uma regra B_1 , e com outra regra B_2 . Os resultados obtidos destas interseções (F_1 e F_2) são somadas (operador OR) resultando uma área α .

¹⁵ YAGER R.R. & FILEV D.P. Essential of Fuzzy Modelling and Control. Editora John Wiley, USA. 1994.

FIGURA 5.9 – MÉTODO DE INFERÊNCIA DE MAMDANI



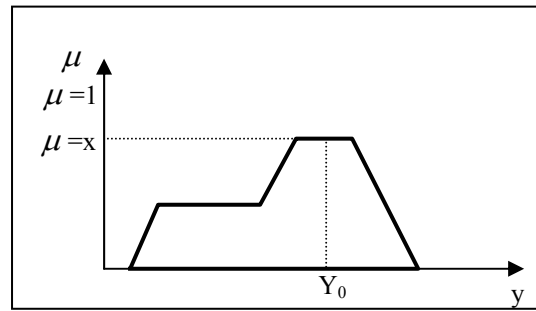
FONTE: ORTEGA (2001, p. 45)

5.2.9 Métodos de Defuzzificação

Os modelos lingüísticos Fuzzy fornecem uma saída para o sistema que é também um conjunto Fuzzy. Todavia, muitas vezes interessa obter um número como resposta, ou seja, deseja-se obter um resultado clássico a partir da saída Fuzzy obtida. Este objetivo pode ser alcançado através dos métodos de defuzzificação. Esse valor numérico representa o significado essencial dessa distribuição de possibilidades. Existem muitas técnicas de defuzzificação e entre as mais utilizadas estão a: Média dos Máximos; Centro de Área; e Método das Alturas (ORTEGA, 2001).

O método das Médias dos Máximos (MM) calcula a média de todos os valores de saída que tenham os maiores graus de possibilidade, fornecendo o ponto médio do intervalo que contém o máximo grau de possibilidade, conforme mostra a Figura 5.10. A principal limitação deste método é que não considera a forma total do conjunto Fuzzy de saída, podendo fornecer um resultado contra-intuitivo.

FIGURA 5.10 – MÉTODO DE DEFUZZIFICAÇÃO (MM)



FONTE: ORTEGA (2001, p. 47)

O método de Centro de Área (CA) é a técnica de defuzzificação mais comumente usada. Conhecido também como Centro de Gravidade ou do Centróide (KLIR & YUAN¹⁶, YEN & LANGARI¹⁷, apud ORTEGA, 2001, p.48). Diferentemente do MM, a técnica do Centro de Área para calcular o valor clássico representativo considera toda a distribuição de possibilidade de saída do modelo. O procedimento é similar ao usado para calcular o centro de gravidade em Física, se a função $\mu_A(x)$ é considerada como a densidade de massa de x . Por outro lado, o método do Centro de Área pode ser compreendido como uma média ponderada, onde $\mu_A(x)$ funciona como o peso do valor x . Se x é discreto, então a defuzzificação da conclusão Fuzzy A é dada por:

$$y_0 = \frac{\sum_x \mu_A(x) \cdot x}{\sum_x \mu_A(x)}. \quad (5.29.)$$

Da mesma forma se x é contínuo, então:

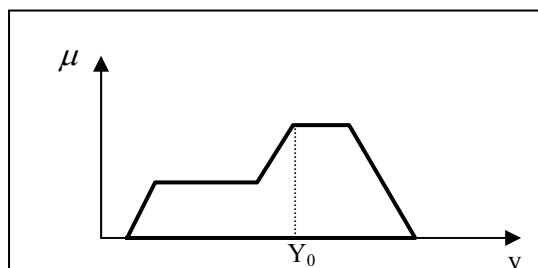
$$y_0 = \frac{\int \mu_A(x) \cdot x \cdot dx}{\int_x \mu_A(x) \cdot dx}. \quad (5.30.)$$

¹⁶ KLIR G. & YUAN B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Editora Prentice Hall, USA. 1995.

¹⁷ YEN J. & LANGARI R. Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information. Prentice Hall, EUA. 1999.

A Figura 5.11 exemplifica o método de defuzzificação do CA. A principal desvantagem desse método é o seu custo computacional, principalmente no caso em que x é contínuo.

FIGURA 5.11 – MÉTODO DE DEFUZZIFICAÇÃO (CA)



FONTE: ORTEGA (2001, p. 49)

O Método das Alturas (MA) pode ser visto como uma aproximação do método do Centro de Área. Ele é realizado em duas etapas, primeiro converte-se as funções de pertinência, os conseqüentes das regras, em conseqüentes clássicos obtendo-se assim o centro de gravidade respectivo. A defuzzificação do centróide é então aplicada para as regras com os conseqüentes clássicos. Esse método reduz o custo computacional (ORTEGA, 2001).

6 – MODELO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO

O desenvolvimento deste processo de avaliação quantitativa da qualidade de mapeamento se deu inicialmente com o estabelecimento dos parâmetros de qualidade do mapeamento. Cada parâmetro é estabelecido pelos seus elementos influenciadores, de modo a traduzi-lo por uma grandeza apropriada. Através deste entendimento, estabeleceu-se um modelo envolvendo a relação entre cada parâmetro, equacionando-os de modo a reproduzir uma relação de causas e efeitos tais que sua variação reflita adequadamente a realidade sobre os outros parâmetros que lhes são intrínsecos ou dependentes, criando-se assim os Indicadores.

Dado o caráter holístico da Cartografia, ou seja, o caráter de integrar fenômenos variantes no tempo e no espaço, tem-se o aspecto ‘incerteza’ no processamento dos dados do modelo. Assim, a lógica Fuzzy, fundamentada na teoria dos conjuntos adequada ao tratamento das incertezas, é utilizada para a obtenção de valores objetivos no processamento de variáveis subjetivas ou empíricas.

Conhecendo-se os Indicadores apropriados aos objetivos pretendidos, estes são processados no Sistema de Inferência Fuzzy (SIF), cuja função é o mapeamento de uma dada entrada para uma saída usando a lógica Fuzzy. Ou seja, o SIF providencia as bases sob as quais as decisões podem ser feitas no universo de possibilidades criadas entre os Indicadores. Assim, o modelo proposto possibilita a avaliação quantitativa da qualidade contextual de base cartográfica por meio de Indicadores e Sistema de Inferência Fuzzy – SIF.

6.1 ASPECTOS SOBRE A IDENTIFICAÇÃO E VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE

O conceito de ‘qualidade’ é subjetivo e está ligado à satisfação funcional, possuindo, assim, uma gama considerável de variação. Esta variação se dá tanto na identificação dos parâmetros que devem ser considerados na conceituação de qualidade, como também na avaliação individual dos atributos de cada um dos parâmetros. A qualidade de um produto ou serviço está sempre atrelada a algumas características que lhe são específicas e que nem sempre são óbvias na sua definição. Na definição da qualidade dos produtos cartográficos ocorre a mesma indeterminação, ou seja, incerteza relativa aos parâmetros que devem ser avaliados.

É conveniente lembrar a definição dos termos ‘parâmetro’, ‘variável’ e ‘atributo’. Parâmetro é a característica que define o elemento. Por exemplo, parâmetros de um mapa são: escala ou resolução, sistema de projeção, acuracidade, dentre outros. São elementos que não variam no objeto considerado, antes, o identificam. Ou parâmetros de um Indicador são as grandezas que o caracterizam. Variável é o elemento que assume diferentes valores quando submetido a diferentes condições ou situações. Variáveis de um mapa digital podem ser, por exemplo, as primitivas gráficas (área, linha, ponto) utilizadas na representação de uma feição quando o mapa é impresso em escalas diferentes, variando entre a utilização de ‘área’ ou ‘ponto’ para a representação de uma edificação dependendo da escala de representação utilizada. Atributo é uma característica de um parâmetro ou de uma variável, podendo ser ‘tamanho’, ‘cor’, ‘espessura’, quantidade, etc. Por exemplo, ‘verde’ pode ser o valor do atributo ‘cor’ da variável ‘linha’; ou ‘2,1’ pode ser o valor do parâmetro de um Indicador, por exemplo: ‘2,1’ pode ser o valor do parâmetro ‘Crescimento Populacional – CP’, o qual possui dois atributos ‘quantidade absoluta do crescimento populacional’, e ‘índice do crescimento populacional’, do Indicador intermediário “Fatores que Modificam o Meio”.

Para se definir a qualidade de um produto cartográfico, combinam-se

diversos parâmetros onde cada um deles reflete um determinado aspecto de qualidade que é importante ao usuário do produto. A quantidade destes parâmetros varia de acordo com o grau de abrangência que se pretende considerar na conceituação de qualidade. Um mapa, por exemplo, pode ser classificado em termos de qualidade, apenas por um parâmetro, o de exatidão posicional (PEC). Porém, vários outros parâmetros podem ser agregados ao conceito de qualidade de mapeamento considerando outros aspectos que são importantes para o desempenho funcional do produto.

A classificação dos valores, de cada atributo varia de acordo com o grau de rigor que se pretende considerar na conceituação de qualidade. Assim, a quantidade de parâmetros para avaliar a qualidade de mapeamento pode variar de acordo com as necessidades do que avaliar. Mas, principalmente a classificação dos valores dos atributos deve ser estabelecida de acordo com as necessidades e objetivos do usuário, pois, a necessidade de um valor alto para a precisão, por exemplo, não significa, necessariamente, que deva ser alto para qualquer objetivo apenas porque o parâmetro ‘precisão’ faz parte do Indicador de qualidade de mapeamento. Assim, antes de se referir ao conceito de qualidade, é necessário inicialmente estabelecer os parâmetros que a definem segundo a utilização pretendida ao produto avaliado. Ainda é relevante flexibilizar o intervalo de variação de seus atributos de acordo com o contexto de utilização do produto.

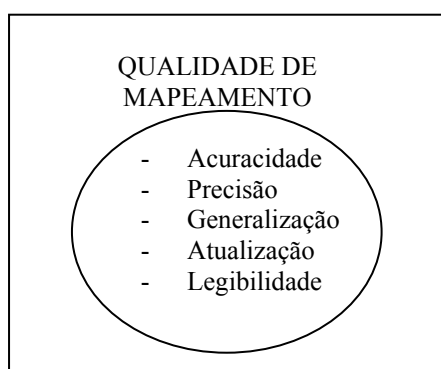
6.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA BASE CARTOGRÁFICA

Na utilização de bases cartográficas a questão relativa à acuracidade temporal é um aspecto importante na avaliação da sua qualidade. Ou seja, é necessário conhecer o grau de atualização dos dados contidos nos documentos cartográficos, e com este objetivo estabeleceu-se, então, o Indicador de Atualidade Cartográfica. Outro

aspecto a ser considerado é a completeza das informações referentes a cada feição cartográfica que compõe o mapeamento segundo a escala de representação. Esta completeza, neste modelo, refere-se à quantidade de elementos representados no documento cartográfico relativamente às informações originais (documento ou terreno) de uma determinada feição, segundo a escala de representação. Assim, estabeleceu-se o Indicador de Generalização Cartográfica para avaliar este aspecto. Na sequência, os aspectos referentes à resolução permitida pela escala, exatidão posicional, e facilidade de leitura do conjunto total dos elementos mapeados, foram considerados. Para cumprir com o propósito de avaliar estes aspectos, estabeleceram-se respectivamente, os Indicadores de Precisão, Acuracidade, e Legibilidade.

Assim, os parâmetros definidores do conceito de Qualidade de Mapeamento são: Atualização; Generalização; Precisão; Acuracidade; e Legibilidade. A definição dos valores de atributos destes parâmetros determina-se em função dos objetivos do mapeamento. Na Figura 6.1 apresentam-se os parâmetros do conceito adotado para ‘Qualidade de Mapeamento’.

FIGURA 6.1 – CONJUNTO DOS PARÂMETROS QUE COMPÕEM O CONCEITO DE ‘QUALIDADE DE MAPEAMENTO’.

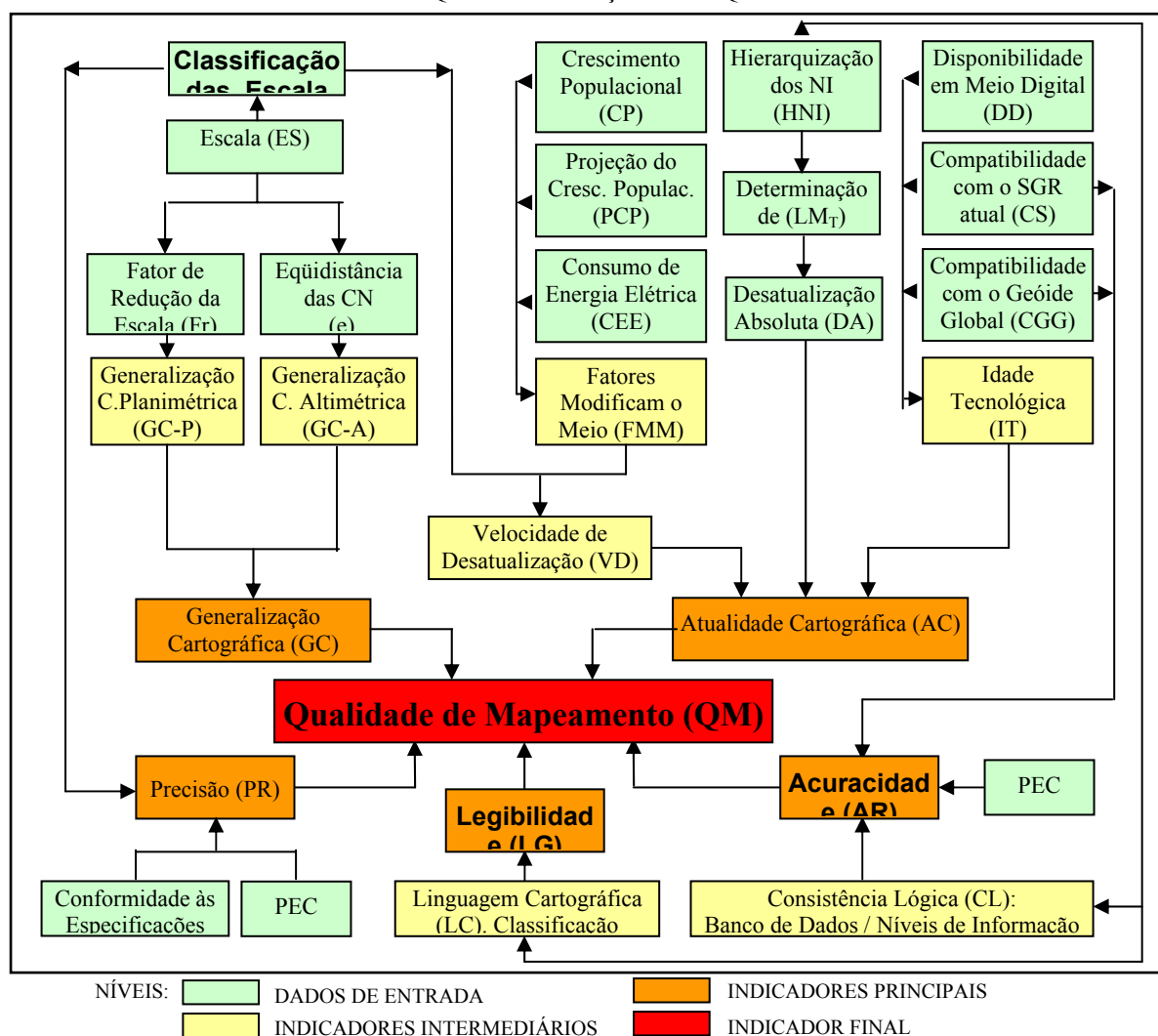


6.3 MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO

O cálculo para a quantificação do Indicador da Qualidade de Mapeamento é formalizado pelo modelo apresentado na Figura 6.2. O modelo é composto por quatro níveis de dados segundo a ordem de entrada no processamento. O primeiro nível é

composto pelos dados de entrada. Estes geram os Indicadores intermediários que se encontram no segundo nível. Os Indicadores intermediários geram os Indicadores principais no terceiro nível. E finalmente destes, resulta o Indicador final, no quarto nível. Assim, os dados de entrada são parâmetros dos Indicadores intermediários. Estes são parâmetros dos Indicadores principais, que por sua vez são os parâmetros do Indicador final.

FIGURA 6.2 – MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO



O Indicador final ‘Qualidade de Mapeamento (QM)’ é determinado pelos cinco Indicadores principais que são: Generalização Cartográfica, Atualidade Cartográfica, Legibilidade, Acuracidade e Precisão. Porém, a determinação do Indicador final, ‘Qualidade de Mapeamento’, não está condicionada necessariamente

aos cinco Indicadores principais. Ou seja, o Indicador da Qualidade de Mapeamento é determinado através dos Indicadores relevantes aos objetivos do usuário, podendo ser apenas um deles ou mais, de acordo com as necessidades de cada caso.

O Indicador principal ‘Generalização Cartográfica (GC)’ é determinado pelos Indicadores intermediários de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P) e Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A). Estes são determinados pelos seguintes dados de entrada: Fator de redução de escala (Fr) e Equidistância gráfica das curvas de nível (e), os quais são obtidos diretamente da ‘Escala (ES)’ dos documentos cartográficos envolvidos.

O Indicador principal ‘Atualidade Cartográfica (AC)’ é determinado pelos Indicadores intermediários da Velocidade de Desatualização, Fatores que Modificam o Meio, Idade Tecnológica, e da variável de Desatualização Absoluta. O Indicador intermediário ‘Velocidade de Desatualização (VD)’ é determinado pelo parâmetro Escala e pelo Indicador dos Fatores que modificam o Meio. O Indicador ‘Fatores que modificam o Meio (FMM)’ é determinado pelos dados de entrada, relativos ao Crescimento populacional (CP), Projeção do Crescimento Populacional (PCP), e Consumo de Energia Elétrica (CEE). O Indicador intermediário ‘Idade Tecnológica (IT)’ é determinado pelos dados de entrada, ‘Disponibilidade em Meio Digital (DD)’, ‘Compatibilidade com o SGR Atual (CS)’, e ‘Compatibilidade com o Geóide Global (CGG)’. A variável ‘Desatualização Absoluta (DA)’ é determinada em função do índice referente ao ‘Limite Maximo de desatualização (LM_T)’ estabelecida pelo propósito de uso segundo a hierarquização dos níveis de informação cartográfica.

Os demais Indicadores principais, ‘Precisão’, ‘Acuracidade’ e ‘Legibilidade’ não foram desenvolvidos neste trabalho, porém, sua composição dever ser desenvolvida em função dos dados referente à: ‘escala (ES)’, ‘PEC’ e ‘Conformidade às Especificações’ para o Indicador de Precisão; ‘PEC’, ‘Consistência Lógica’, ‘Compatibilidade com o SGR Atual (CS)’, e ‘Compatibilidade com o Geóide Global (CGG)’, para o Indicador de Acuracidade; e ‘Linguagem Cartográfica’ e ‘Consistência Lógica’ para o Indicador de Legibilidade.

6.3.1 Classificação e Significado dos Termos Empregados no Desenvolvimento do Modelo

Os valores de entrada são valores que iniciam o processamento. Estes são obtidos do próprio documento cartográfico ou são informações relativas à região mapeada. Os valores de entrada estão relacionados a seguir com seus respectivos significados:

- a) Escala (ES) – é a escala da representação gráfica utilizada no mapeamento;
- b) Equidistância gráfica das curvas de nível (e): é o valor de referência para o estabelecimento da equidistância com que as curvas de níveis devem ser representadas no mapeamento, segundo a sua escala;
- c) Desatualização Absoluta (DA): é o valor quantitativo referente ao número de elementos da feição existente no mapeamento considerado, em relação ao número de elementos desta mesma feição existente na região. A diferença numérica da quantidade de feições no mapa e na região é decorrente da desatualização do documento cartográfico devido à dinâmica da região mapeada;
- d) Quantidade de Informação Cartográfica Disponível em Meio Digital (DD): é o valor referente à quantidade de informações da base cartográfica que está disponibilizada em sistemas digitais;
- e) Compatibilidade com o SGR atual (CS): é o valor da classificação referente à compatibilidade entre o Sistema Geodésico de Referência (SGR) utilizado no mapeamento e o SGR vigente na atualidade (SIRGAS);
- f) Compatibilidade com o Geóide Global (CGG): é o valor da classificação referente à compatibilidade entre a Rede Vertical de Referência Geodésica Brasileira (RV-RGB) com o Geóide Global vigente atualmente;
- g) Crescimento Populacional (CP): é o valor referente ao índice de

crescimento populacional da região mapeada;

- h) Projeção de Crescimento Populacional (PCP): é o valor referente ao índice de projeção do crescimento populacional da região mapeada;
- i) Consumo de Energia Elétrica (CEE): é o valor referente ao índice de consumo de energia elétrica da região mapeada.

Os Indicadores intermediários são valores obtidos por cálculos a partir dos valores de entrada. Estes estão relacionados abaixo seguidos de seu significado:

- a) Idade Tecnológica (IT): refere-se ao valor que classifica o documento cartográfico quanto à tecnologia empregada na sua produção. Esse valor é obtido em função dos valores de DD, CS e CGG;
- b) Fatores que Modificam o Meio (FMM): refere-se ao valor que classifica o documento cartográfico em função das ações que ocorrem na região mapeada e que influenciam significativamente para a desatualização do documento cartográfico, como CP, PCP e CEE;
- c) Velocidade de Desatualização (VD), refere-se ao valor que classifica o documento cartográfico quanto a sua tendência de desatualização. Esse valor se dá em função da ES e do FMM;
- d) Generalização Cartográfica Planimétrica: é o valor referente à quantidade de feições planimétricas representadas no documento cartográfico em relação ao fator de redução (Fr) das escala consideradas;
- e) Generalização Cartográfica Altimétrica: é o valor referente à classificação do documento cartográfico quanto à equidistância das curvas de nível representadas;

Os Indicadores Principais são valores obtidos por cálculo, a partir dos Indicadores intermediários e valores de entrada. Os Indicadores principais desenvolvidos neste trabalho estão abaixo relacionados, com seus respectivos significados:

- a) Generalização Cartográfica (GC): valor referente a classificação do documento cartográfico obtido dos valores de GC-P e GC-A.;
- b) Atualidade Cartográfica: valor referente classificação do documento cartográfico quanto à atualidade deste documento em função dos valores de VD, IT e DA.

O cálculo do Indicador final, Qualidade de Mapeamento (QM), é processado a partir dos Indicadores principais. O Indicador final deve então, considerar os parâmetros de Acuracidade, Precisão, Generalização, Atualização e Legibilidade, que são componentes do Indicador referente ao conceito de Qualidade da Base cartográfica. Porém, a composição do Indicador final ‘Qualidade de Mapeamento’, pode ser flexibilizada de acordo com as necessidades do usuário, o qual pode eleger apenas um ou mais Indicadores principais para expressar a qualidade do mapeamento. O Indicador final, ‘Qualidade de Mapeamento’, refere-se ao valor de classificação quanto à qualidade funcional do documento cartográfico ou da base cartográfica avaliada, segundo os Indicadores principais significativos ao uso em cada caso.

6.3.2 Propriedades dos Indicadores Aplicado aos Parâmetros do Modelo

O diagrama de construção de Indicadores Quantitativos, em TRZESNIAK (1998), apresentado na Figura 5.1, relaciona uma seqüência de procedimentos para se estabelecer os Indicadores necessários ao sistema analisado. Assim, segue-se a descrição destes procedimentos que foram utilizados para a determinação dos Indicadores estabelecidos ao modelo proposto para a avaliação da qualidade de base cartográfica. O processo se inicia com questionamentos voltados à observação do sistema que envolve a situação a ser solucionada.

A situação que envolve o objetivo principal desta pesquisa é a necessidade de se obter uma metodologia para avaliar a qualidade da base cartográfica. Portanto, observando-se a situação geradora desta necessidade, fez-se os seguintes

questionamentos:

- a) como avaliar um produto cartográfico em seus aspectos gerais e de modo adequado a cada necessidade de utilização?
- b) Como selecionar produtos cartográficos adequadamente a cada aplicação?
- c) Como saber quais os níveis de qualidade existente nos produtos cartográficos, de forma a suprir suficientemente às necessidades das diferentes aplicações?
- d) Como quantificar os níveis de qualidade de mapeamento?

Diante destes questionamentos, selecionou-se os seguintes aspectos desejáveis “a priori” para os Indicadores:

- a) quantificação da qualidade para os diferentes aspectos da qualidade do produto cartográfico, de modo particularizado e com possibilidade de serem combinados conforme os objetivos do usuário. A este propósito estabeleceu-se um Indicador para cada aspecto definido para a qualidade de mapeamento que são: Atualidade Cartográfica, Generalização Cartográfica, Precisão, Acuracidade e Legibilidade;
- b) quantificação da qualidade segundo o contexto de utilização do documento cartográfico. Assim, estabeleceu-se a cada Indicador um meio para que sejam definidos de acordo com as necessidades do usuário.

Na seqüência de raciocínio, apresentado pelo modelo (Fig. 5.1), se estabeleceram os procedimentos de padronização, sendo que a cada Indicador padronizou-se um modo de classificação. Assim, através dos padrões de classificação, foi possível a produção de dados numéricos que, pela interpretação atribuída aos níveis de classificação, pode-se conhecer valores de referência, e as diferentes grandezas atribuídas aos Indicadores podem ser comparadas. Com isto, foram produzidas as informações desejadas a respeito da qualidade de mapeamento, e que finalizam o processo de construção de Indicadores.

7 QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO

O modelo de cálculo para o Indicador da ‘Qualidade de Mapeamento’ (Fig. 6.2), envolve os Indicadores de Atualidade Cartográfica, Generalização Cartográfica, Precisão, Acuracidade e Legibilidade. Os Indicadores aqui desenvolvidos são os de Atualidade Cartográfica e Generalização Cartográfica. Estes Indicadores propostos são determinados em função das necessidades e objetivos de uso. Portanto, é possível se referir aos Indicadores como sendo ‘contextuais’, dando-lhes a ênfase da interferência do contexto de uso do documento cartográfico nas avaliações processadas. Portanto, o Indicador final, ‘Qualidade de Mapeamento’, refere-se à qualidade contextual do mapeamento.

7.1 ESTABELECIMENTO DE INTERVALOS DE CONJUNTOS

Segundo SIMLEY (2001), a utilização da teoria da ‘Distribuição Normal’ no controle de ‘qualidade’, é amplamente aplicada aos procedimentos que envolvem produtos manufaturados, é também, comumente aplicada em Cartografia. Na busca por definição do comportamento dos elementos do modelo de avaliação da qualidade de mapeamento, constatou-se haver insuficiência de conhecimento para a sua determinação exata. Assim, considerando este fato adicionado às considerações de SIMLEY (2001) a respeito da adequação da distribuição normal tanto nos processos de controle de qualidade como também em Cartografia, optou-se por determinar os intervalos de classificação aos elementos do modelo baseando-se em valores extraídos da curva normal. Então, a partir desta consideração utilizou-se o parâmetro *sigma* (σ) da curva normal para se definir os intervalos de classificação. Optou-se por consideram-se cinco classes julgando serem suficientes ao tratamento das incertezas de classificação inerentes aos elementos envolvidos. Assim, além de duas classe extremas e uma mediana, mais duas classes intermediárias são posicionadas entre as classes

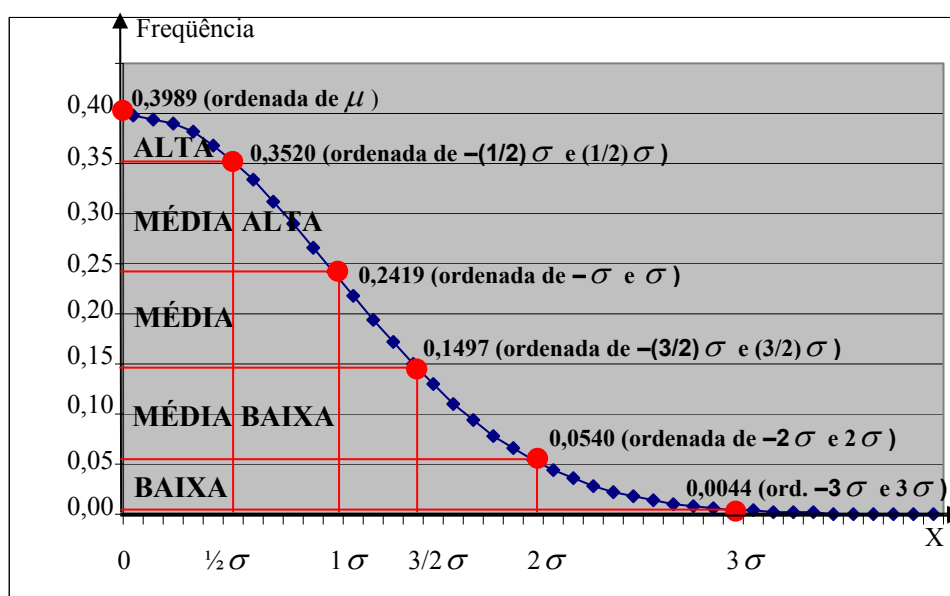
extremas e a mediana, totalizando então cinco classes. Nesta classificação as ordenadas referentes aos pontos de abscissas: 0 ; $(1/2)\sigma$; 1σ ; $(3/2)\sigma$; 2σ , representam os valores de maior freqüência no intervalo de cada uma das cinco classes: ALTA; MÉDIA ALTA; MÉDIA; MÉDIA BAIXA; e BAIXA ilustradas nas Figuras 7.1 e 7.2. A razão deste critério na definição dos intervalos não implica em desenvolvimento estatístico, mas, apenas na consideração de um comportamento de classificação segundo a distribuição normal para os elementos do modelo. A utilização da curva normal não se aplica na submissão dos dados à teoria da distribuição normal, mas, apenas na utilização meramente numérica de valores múltiplos de *sigma* (σ) para se definir os intervalos de classe padronizados neste trabalho. Portanto, adotando-se a função da distribuição normal (MONTGOMERY, 2004, p.40):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (7.1)$$

onde: μ = média do intervalo $[-3\sigma, 3\sigma]$; σ = desvio padrão;

determinam-se as freqüências na curva normal para os seguintes pontos: 0 ; $(1/2)\sigma$; 1σ ; $(3/2)\sigma$; 2σ ; e 3σ no intervalo $[\mu, 3\sigma]$, cujas ordenadas são: 0,3989; 0,3520; 0,2419; 0,1497; 0,0540 e 0,0044 respectivamente, conforme ilustra a Figura 7.1.

FIGURA 7.1 – CURVA NORMAL NO INTERVALO: $[\mu + 3\sigma]$

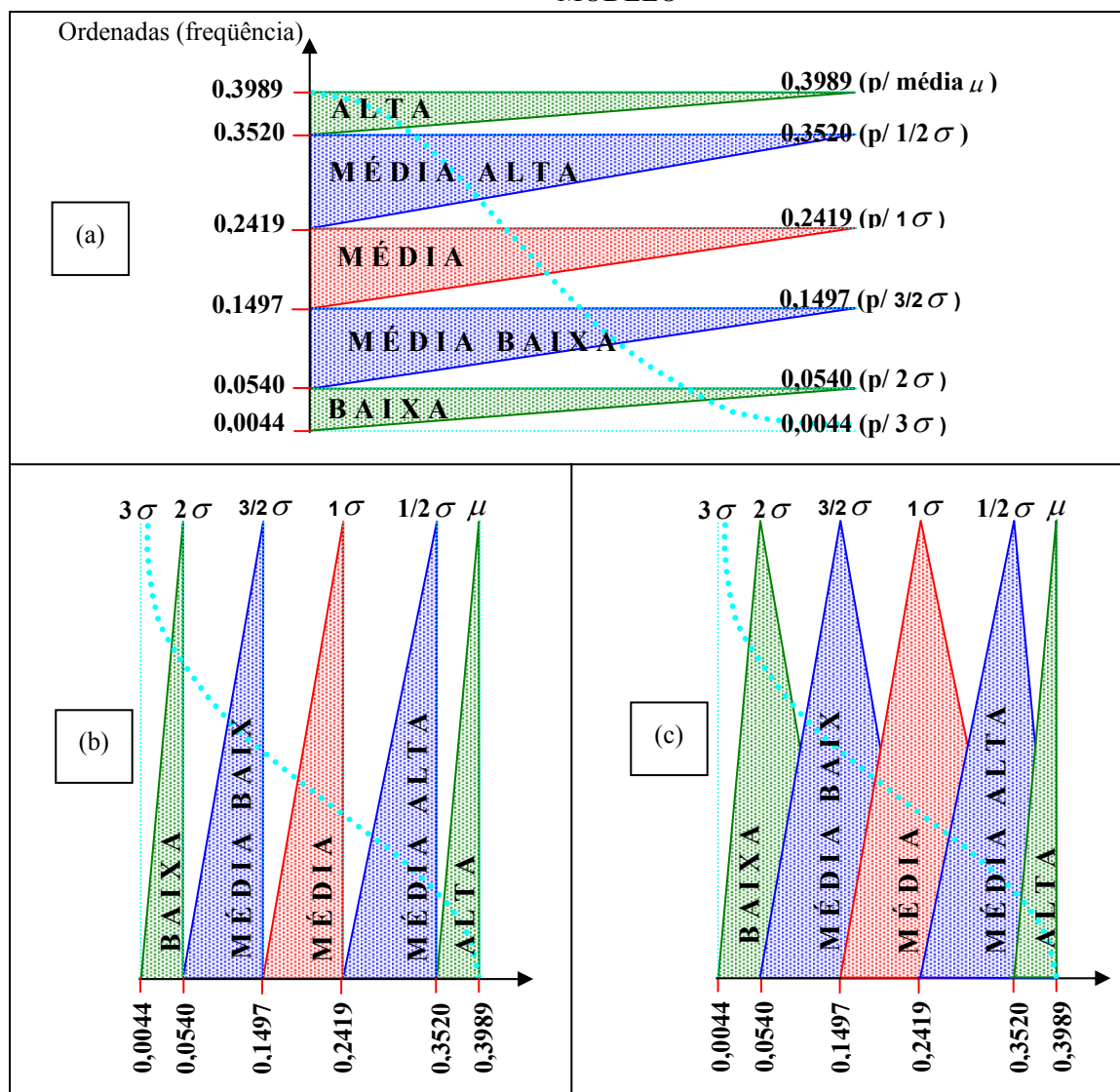


Com as ordenadas definidas anteriormente se estabelecem cinco intervalos que definem as cinco classes adotadas como padrão no desenvolvimento do modelo. As cinco classes, assim padronizadas, são flexíveis quanto à nomenclatura, como: ALTA, MÉDIA ALTA, MÉDIA, MÉDIA BAIXA e BAIXA, mas, invariáveis na posição dos intervalos, os quais foram definidos sobre o intervalo $[\mu, 3\sigma]$ da curva normal, conforme mostra a Figura 7.1.

A Figura 7.2 mostra o processo de construção das cinco classes (ALTA, MÉDIA ALTA, MÉDIA, MÉDIA BAIXA, e BAIXA) utilizadas no processamento dos elementos do modelo. A Figura 7.2(a) mostra o ponto de maior frequência nos intervalos anteriormente definidos (Figura 7.1), o qual convencionou-se ser também, o ponto de maior significância dentro da respectiva classe. Assim, os pontos mais significativos de cada classe são: o ponto de ordenada 0,3989 (correspondente à média μ) para a classe ALTA; o ponto de ordenada 0,3520 (de abscissa: $(1/2)\sigma$) para a classe MÉDIA ALTA; o ponto de ordenada 0,2419 (de abscissa: 1σ) para a classe MÉDIA; o ponto de ordenada 0,1497 (de abscissa: $(3/2)\sigma$) para a classe MÉDIA BAIXA; e o ponto de ordenada 0,0540 (de abscissa: 2σ) para a classe BAIXA. Para todos os demais pontos de cada classe considerou-se que a frequência diminui linearmente até atingir o valor zero à medida que se aproximam dos pontos extremos de cada intervalo, obtendo-se, assim, a forma triangular para as funções de cada classe.

A Figura 7.2(b) mostra a Figura 7.2(a) com o eixo das ordenadas (frequência) na posição horizontal e sentido da esquerda para a direita, onde as classes, ALTA, MÉDIA ALTA, MÉDIA, MÉDIA BAIXA, e BAIXA, se apresentam com intervalos distintos. Porém, estes intervalos deverão ser sobrepostos devido à consideração das incertezas relacionadas à classificação dos elementos envolvidos, adequando-se, então, ao processamento do sistema de inferência Fuzzy. Então, a sobreposição das classes faz-se ampliando seus intervalos até o ponto de maior frequência da classe adjacente, conforme mostra a Figura 7.2(c).

FIGURA 7.2 – PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DAS CLASSES PARA OS ELEMENTOS DO MODELO



A Tabela 7.1 relaciona as abscissas da curva normal (0 , $(1/2)\sigma$, 1σ , $(3/2)\sigma$, 2σ , e 3σ), suas respectivas ordenadas (0,3989; 0,3520; 0,2419; 0,1497; 0,0540 e 0,0044), e ainda a ordenada do ponto central de cada intervalo entre os pontos de maior frequência (0,3755; 0,2970; 0,1958; 0,1018; 0,2920). Ainda, para se utilizar estes valores na definição das classes de conjuntos Fuzzy é necessário normalizá-los para o intervalo que varia de 0 a 1, onde a ordenada 0,3989 corresponde ao valor 1, e a partir desta relação extraem-se todos os demais valores correspondentes, conforme Tabela 7.1

TABELA 7.1 – LIMITES DOS CONJUNTOS FUZZY BASEADOS NA CURVA NORMAL

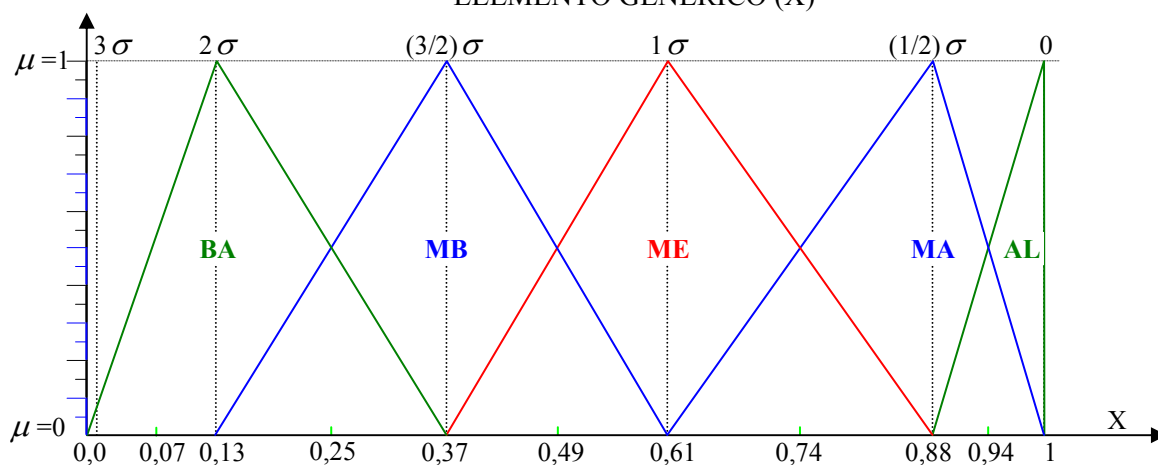
Abcissa (x)	Ordenada (y)	Ordenadas (Y) Normalizadas	Ordenadas (Y) Normalizadas e Arredondadas	Principais Divisões
MÉDIA (μ) = 0	0,3989	1	1	1σ
Centro do intervalo $[0 - (1/2)\sigma]$	0,3755	0,9413	0,94	
Ponto $(1/2)\sigma$	0,3520	0,8824	0,88	
Centro do intervalo $[(1/2)\sigma - 1\sigma]$	0,2970	0,7445	0,74	
Ponto 1σ	0,2419	0,6064	0,61	
Centro do intervalo $[1\sigma - (3/2)\sigma]$	0,1958	0,4908	0,49	2σ
Ponto $(3/2)\sigma$	0,1497	0,3753	0,37	
Centro do intervalo $[(3/2)\sigma - 2\sigma]$	0,1018	0,2552	0,25	
Ponto 2σ	0,0540	0,1354	0,13	
Centro do intervalo $[2\sigma - 3\sigma]$	0,0292	0,0732	0,07	3σ
Ponto 3σ	0,0044	0,0110	0,00	

7.2 DETERMINAÇÃO DOS CONJUNTOS FUZZY

Conjuntos Fuzzy não possuem intervalos rígidos, isto é, um elemento pode pertencer a mais de um conjunto simultaneamente. Apesar da determinação dos cinco intervalos de classes definidos pelas ordenadas correspondentes às abscissas (0 , $(1/2)\sigma$, 1σ , $(3/2)\sigma$, 2σ , 3σ) da curva normal, devido a superposição de intervalos, os conjuntos Fuzzy passam a ser compostos por dois parâmetros: o intervalo de domínio que defini a sua abrangência, e o intervalo de classificação, onde os valores do intervalo de domínio têm maior significância naquele conjunto. Com isto, os conjuntos Fuzzy ficam definidos da seguinte forma: $[0,0 - 0,37]$ é o intervalo de domínio para a classe BAIXA, e $[0,07 - 0,25]$ é o correspondente intervalo de classificação; $[0,13 - 0,61]$ é o intervalo de domínio para a classe MÉDIA BAIXA, e $[0,25 - 0,49]$ é o correspondente intervalo de classificação; $[0,37 - 0,88]$ é o intervalo de domínio para a classe MÉDIA, e $[0,49 - 0,74]$ é o correspondente intervalo de classificação; $[0,61 - 1]$ é o intervalo de domínio para a classe MÉDIA ALTA, e $[0,74 - 0,94]$ é o correspondente intervalo de classificação; e $[0,88 - 1]$ é o intervalo de domínio para a classe ALTA, e $[0,94 - 1]$ é o correspondente intervalo de

classificação. Os conjuntos são ainda, definidos por funções denominadas ‘função de pertinência’. Estas funções caracterizam o comportamento da variável representada e o grau de pertinência de um ponto ‘x’ a um determinado conjunto. O grau de pertinência varia no intervalo $[0, 1]$, e é caracterizado pela letra ‘ μ ’. Considerando o fato de que os conhecimentos para a caracterização do comportamento dos elementos do modelo proposto são insuficientes, impossibilitando a definição de uma função de pertinência específica, adotou-se, genericamente, funções de pertinência lineares devido a sua simplicidade e eficiência. Portanto, as funções adotadas são as lineares de formato quadrático, triangular e trapezoidal. A constituição de cada uma das funções de pertinência está relacionada apenas com os intervalos de domínio e o ponto de núcleo. Assim, em tais intervalos, são os pontos de abscissas: 0 , $(1/2)\sigma$, 1σ , $(3/2)\sigma$ e 2σ , que representam o ponto de mais alto valor de pertinência, ou núcleo, de cada classe. Os valores centrais entre as classes (0,94; 0,74; 0,49; 0,25 e 0,07) definem a largura dos conjuntos Fuzzy, ou o intervalo de maior significância de cada classe definido como intervalo de classificação. Assim, definiram-se os cinco conjuntos Fuzzy para a classificação padronizada dos elementos do modelo proposto para a quantificação da qualidade do mapeamento. A Figura 7.3, derivada da Figura 7.2(c), mostra a definição deste sistema de conjuntos Fuzzy para um elemento genérico X.

FIGURA 7.3 – SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA PARA O ELEMENTO GENÉRICO (X)



Para cada sistema de conjuntos Fuzzy (Fig.7.3) de um determinado elemento X do modelo, são estabelecidos os conjuntos Fuzzy das respectivas classes do elemento X, da seguinte forma:

- a) o conjunto universo de discurso contínuo do elemento X é composto pelo intervalo de classificação de X, estabelecido segundo os propósitos de sua utilização, no intervalo entre 0 e 1. Então, $U_X = \{0, 1\}$;
- b) as funções de pertinência adotada para os conjuntos Fuzzy referentes às classes BAIXA (BA), MÉDIA BAIXA (MB), MÉDIA (ME), MÉDIA ALTA (MA), e ALTA (AL), são as funções triangulares. Cada conjunto Fuzzy definido por estas funções possui um ponto de núcleo (valor de pertinência máximo = 1), e os demais pontos x possuem valores de pertinência linearmente decrescentes até assumirem o valor zero ao atingirem o núcleo dos conjuntos adjacentes;
- c) os conjuntos Fuzzy que representam respectivamente as classes, BAIXA, MÉDIA BAIXA, MÉDIA, MÉDIA ALTA, e ALTA, para a variável X, são definidos da seguinte forma:

BA = {0,00 0,37}: com núcleo em $x = 0,13$ (correspondente a 2σ) e os valores de pertinência zero ($\mu = 0$) no ponto de origem do sistema e no núcleo do conjunto adjacente ($x = 0$ e $x = 0,37$);

MB = {0,13 0,61}: com núcleo em $x = 0,37$ (correspondente a $3/2\sigma$), e valores de pertinência zero ($\mu = 0$) no núcleo de cada um dos conjuntos adjacentes ($x = 0,13$ e $x = 0,61$);

ME = {0,37 0,88}: com núcleo em $x = 0,61$ (correspondente a 1σ), e valores de pertinência zero ($\mu = 0$) no núcleo de cada um dos conjuntos adjacentes ($x = 0,37$ e $x = 0,88$);

MA = {0,61 1}: com núcleo em $x = 0,88$ (correspondente a $1/2\sigma$), e valores de pertinência zero ($\mu = 0$) no núcleo de cada um dos conjuntos adjacentes ($x = 0,61$ e $x = 1$);

AL = {0,88 1}: com núcleo em $x = 1$ (correspondente à média da curva

normal, extremo superior de U_x), e valor de pertinência zero ($\mu = 0$) no núcleo do conjunto adjacentes ($x = 0,88$).

Cabe observar que intervalos diferentes dos determinados no item 7.1 foram adotados para os elementos abaixo relacionados, seguidos da respectiva justificativa:

- a) Compatibilidade com o SGR atual (CS) – identificaram-se oito classes de distinguível relevância;
- b) Compatibilidade com o Geóide Global (CGG) – identificaram-se quatro classes de distinguível relevância;
- c) Crescimento Populacional (CP) e Projeção do Crescimento Populacional (PCP) – optou-se por manter as quatro classes atribuídas à classificação dos municípios brasileiros quanto ao índice de crescimento populacional;
- d) Consumo de Energia Elétrica (CEE) – optou-se por seguir os mesmos critérios de classificação dos elementos CP e PCP, por apresentar comportamento semelhante;
- e) Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P) – cinco intervalos de classe foram definidos em função do fator de redução da escala (Fr), ou seja, em função da relação entre a escala origem e a escala derivada;
- f) Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A) – cinco intervalos de classe foram definidos em função da equidistância gráfica (e) das curvas de nível.

7.3 INTERPRETAÇÃO DA FIGURA REPRESENTATIVA DO SISTEMA DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

Os elementos do modelo para quantificação da qualidade de mapeamento são classificados, normalmente, em cinco classes e geram um sistema de funções de pertinência equivalente ao representado na Figura 7.3. A interpretação da função de pertinência neste sistema é descrita a seguir:

Cada conjunto Fuzzy (BA, MB, ME, MA, AL) tem os pontos de maior

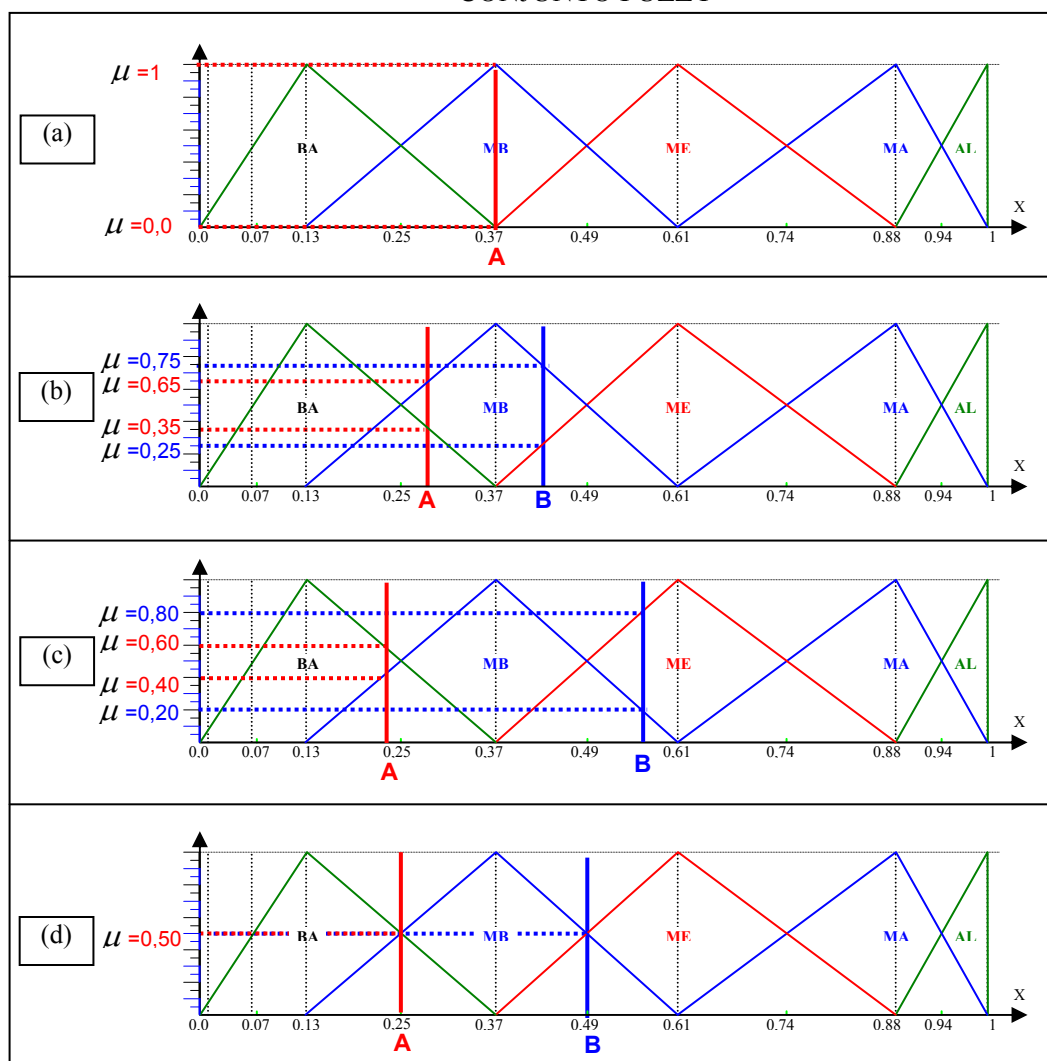
relevância, ou de maior valor de pertinência, no intervalo entre os pontos de cruzamento, ou seja, no respectivo intervalo de classificação, que são: $[0,07 - 0,25]$ para a classe BAIXA – BA; $[0,25 - 0,49]$ para a classe MÉDIA BAIXA – MB; $[0,49 - 0,74]$ para a classe MÉDIA – ME; $[0,74 - 0,94]$ para a classe MÉDIA ALTA – MA; e $[0,94 - 1]$ para a classe ALTA – AL. Porém, como os conjuntos Fuzzy apresentam sobreposição, em seus intervalos de domínio, com os conjuntos adjacentes, cada ponto do conjunto terá um grau de pertinência (relevância) maior para um determinado conjunto do que para outro. São quatro as principais situações de diferente interpretação dos valores de pertinência do ponto x . Assim, para interpretar a pertinência, ou a relevância, de um ponto x a um determinado conjunto, considera-se uma reta vertical passante pelo ponto x , e analisam-se os pontos que esta reta intercepta. A Figura 7.4 ilustra as quatro situações descritas a seguir:

- a) para um ponto ‘ x ’ coincidente com o ponto de núcleo, a pertinência ao conjunto correspondente é absoluta (máxima), ou seja, não há nenhum grau de pertinência a outro conjunto. Neste caso o ponto x pertence integralmente apenas ao conjunto que contém o referido núcleo. O ponto ‘A’ ($x = 0,37$) na Figura 7.4 (a), tem o valor máximo de relevância ou pertinência para o conjunto MB ($\mu_{MB}(A) = 1$), e tem o valor mínimo de pertinência tanto para o conjunto BA como para o conjunto ME ($\mu_{BA/ME}(A) = 0$). Portanto, o ponto ‘A’, de abscissa igual a 0,37, pertence apenas ao conjunto MB;
- b) o valor de pertinência de ‘ x ’ ao conjunto MB ($\mu_{MB}(x)$), por exemplo, quando x está situado em qualquer ponto entre o núcleo do conjunto MB e um dos pontos de cruzamento (0,25 ou 0,49), portanto, no seu intervalo de classificação, terá sempre maior valor de pertinência ao conjunto que contém o referido núcleo (MB) do que ao conjunto adjacente, conforme mostram os pontos ‘A’ e ‘B’ na Figura 7.4 (b). A vertical em ‘A’ intercepta o conjunto BA na ordenada igual a 0,35 ($\mu_{BA}(A) = 0,35$), e intercepta o conjunto MB na ordenada igual a 0,65 ($\mu_{MB}(A) = 0,65$). A

vertical em 'B' intercepta o conjunto ME na ordenada de valor 0,25 ($\mu_{ME}(B) = 0,25$) e intercepta o conjunto MB na ordenada de valor 0,75 ($\mu_{MB}(B) = 0,75$). Portanto, os valores de pertinência ($\mu_{MB}(x)$) de x são maiores para o conjunto MB tanto em 'A' como em 'B'. O ponto 'A' pertence tanto ao conjunto BA como ao conjunto MB, porém, pertence ao conjunto BA com menor grau de pertinência ($\mu_{BA}(A) = 0,35$) do que ao conjunto MB, onde o valor de pertinência é maior ($\mu_{MB}(A) = 0,65$). O ponto 'B' pertence tanto ao conjunto ME como ao conjunto MB, porém, pertence ao conjunto ME com menor grau de pertinência ($\mu_{ME}(B) = 0,25$) do que ao conjunto MB, onde o valor de pertinência é maior ($\mu_{MB}(B) = 0,75$);

- c) o valor de pertinência de 'x' ao conjunto MB ($\mu_{MB}(x)$), por exemplo, quando x está situado além do ponto de cruzamento, portanto fora do seu intervalo de classificação, ($x < 0,25$ ou $x > 0,49$) será de menor relevância para o conjunto MB e de maior relevância para o conjunto adjacente. Esse é caso dos pontos 'A' e 'B' na Figura 7.4 (c). O valor de pertinência de 'A' ao conjunto MB é de 0,4 ($\mu_{MB}(A) = 0,4$), enquanto que para o conjunto BA o valor de pertinência de 'A' é de 0,6 ($\mu_{BA}(A) = 0,6$). Em 'B' o valor de pertinência ao conjunto MB é de 0,2 ($\mu_{MB}(B) = 0,2$), e é de 0,8 para o conjunto ME ($\mu_{ME}(B) = 0,8$);
- d) o valor de pertinência de 'x' ao conjunto MB ($\mu_{MB}(x)$) quando o ponto x coincidente com um ponto de cruzamento, é idêntico tanto para um conjunto como para o outro. Este é caso do ponto 'A' cuja abscissa é igual a 0,25, ou do ponto B com abscissa igual a 0,49, por exemplo. Na Figura 7.4 (d) o ponto 'A' ($x = 0,25$) tem grau de pertinência igual a 0,5 tanto para o conjunto BA como para o conjunto MB ($\mu_{BA/MB}(A) = 0,5$). Também para o ponto 'B' ($x = 0,49$), o grau de pertinência é igual a 0,5 tanto para o conjunto MB como para o conjunto ME ($\mu_{MB/ME}(B) = 0,5$).

FIGURA 7.4- INTERPRETAÇÃO SOBRE A PERTINÊNCIA DE 'X' A UM DETERMINADO CONJUNTO FUZZY



7.4 INDICADOR DE ATUALIDADE CARTOGRÁFICA (CA)

O Indicador de Atualidade Cartográfica é estabelecido para determinar um valor, dentro do intervalo $[0, 1]$, tal que expresse quantitativamente a atualidade do produto cartográfico analisado segundo limiares estabelecidos pelo usuário. O Indicador da Atualidade Cartográfica é composto por outros Indicadores, parâmetros e/ou variáveis, da seguinte forma:

- Indicador principal: Atualidade Cartográfica (AC):
 - o Variável: Desatualização Absoluta (DA);

- Indicador intermediário: Idade Tecnológica (IT):
 - Variável: Disponibilidade em meio Digital (DD);
 - Variável: Compatibilidade com o SGR atual (CS);
 - Variável: Compatibilidade com o Geóide Global (CGG).
- Indicador intermediário: Velocidade de Desatualização (VD):
 - Parâmetro: Escala (ES);
 - Indicador intermediário: Fatores que Modificam o Meio (FMM):
 - Variável: Crescimento Populacional (CP);
 - Variável: Projeção de Crescimento Populacional (PCP);
 - Variável: Consumo de Energia Elétrica (CEE).

7.4.1 Determinação da Variável de Desatualização Absoluta (DA)

O mapa é um objeto estático que representa uma determinada área em um instante 't'. Porém a área mapeada com suas diversas feições está inserida em uma realidade que é dinâmica, e conseqüentemente sofre constante modificação. Sendo assim, pode-se afirmar que todo produto de mapeamento cartográfico é desatualizado, se comparado com o instante presente. A cartografia digital tem contribuído significativamente na administração dos efeitos produzidos pelo caráter dinâmico do ambiente uma vez que o meio digital provê facilidades em excluir ou agregar informações espaciais. Assim, alguns órgãos (como prefeituras) já se organizaram na coleta e complementação das modificações ocorridas recentemente no ambiente, concretizando com isso, um processo contínuo de atualização dos respectivos produtos cartográficos. Estes procedimentos são importantes para a eficiência na utilização do mapeamento, para a definição do índice de desatualização absoluta do mapeamento, e conseqüentemente, para prolongar a vida útil dos produtos cartográficos. Assim, é necessário que o usuário de uma base cartográfica estabeleça uma padronização para controlar os níveis de desatualização ocorrida a cada feição cartográfica, e possibilitar com isto a manutenção da qualidade de seus serviços.

Para se obter o valor da Desatualização Absoluta é necessário um monitoramento contínuo desde a data da aquisição dos dados para a elaboração do mapeamento. Recomenda-se que as informações não mapeadas sejam registradas e organizadas segundo a classificação das feições adotada no mapeamento, e contabilizadas em unidades características das respectivas feições conforme mostra o exemplo da Tabela 7.2. Assim, estes valores quantitativos (percentuais) entre a diferença do montante mapeado e do não mapeado de cada feição definem a Desatualização Absoluta (DA).

TABELA 7.2 – EXEMPLO DE DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA)

CLASSES DOS N.I. (FEIÇÕES)	UNIDADE DE MAPEAMENTO DA FEIÇÃO	UNIDADES NO AMBIENTE	UNIDADES NO MAPEAMENTO	QUANTIDADE MAPEADA	QUANTIDADE NÃO MAPEADA
Edificações	m ²	210.456 m ²	120.380,8 m ²	ed (57,2%)	ed (42,8%)
Loteamento	Lote	154.288 lotes	114.173 lotes	lt (74%)	lt (26%)
Quadras	Quadra	104.550 quadras	92.004 quadras	qd (88%)	qd (12%)
Arruamento	Trechos = 1 km	101.000 km	80.800 km	ar (80%)	ar (20%)
MÉDIA	-	-	-	-	25,2%

N.I. – Níveis de Informação.

7.4.1.1 Determinação do nível máximo (LM) de Desatualização Absoluta (DA)

Sabendo-se que desde o primeiro momento de uso dos produtos de mapeamento, já existe algum nível de desatualização, é necessário padronizar quantidades aceitáveis e máximos toleráveis para a desatualização absoluta dos produtos cartográficos em uso.

Conforme SIMLEY (2001), a metodologia denominada “*p-chart*”, é utilizada no controle de qualidade dos produtos cartográficos produzidos em série. Esta metodologia está baseada na distribuição normal que segundo SIMLEY (2001) foi reconhecida por Shewhart (1931) como adequada aos processos de medição da qualidade de produtos manufaturados de um modo geral.

Segundo SIMLEY (2001), Shewhart reconheceu que em um sistema otimizado de manufaturados, uma vez que os problemas óbvios de qualidade tenham sido eliminados, haverá sempre algum grau de erro que raramente poderá ser

eliminado por causa da multidão de variáveis que agem sobre o processo. Shewhart demonstra que as medidas de qualidade distribuídas dentro de mais ou menos três desvios padrão (3σ) da média (μ) são uma parte normal do processo, ao que ele chamou de ‘variação normal’. A metodologia “*p-chart*”, baseia-se em amostras de tamanho variado onde: \bar{p} é a média da razão amostral entre os elementos não conforme (D_i), ou seja, elementos que extrapolam os padrões considerados aceitáveis para uso, e n_i é o tamanho da amostra. Com isto estabelece-se uma linha média num gráfico de controle definida pelo valor de \bar{p} , e a partir desta calculam-se os limites máximos, superior (LM_S) e inferior (LM_I), a esta linha segundo as seguintes equação:

$$LM_S = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n_i} \quad (7.2)$$

$$LM_I = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n_i} \quad (7.3)$$

Porém, esta metodologia está baseada em quantidades amostrais o que não corresponde à realidade tratada no caso de quantificar a atualidade dos documentos cartográficos a qual deve considerar a totalidade das feições. No entanto, a metodologia “*p-chart*” poderá ser utilizada para os casos em que seja conveniente trabalhar com dados amostrais. Embora a metodologia “*p-chart*” não esteja sendo utilizada neste caso, é ainda conveniente considerar a proposição, nela estabelecida, de se definir um limite superior a partir de um determinado valor pré-definido. Para isto, estabelece-se um critério onde se determina, segundo as necessidades do usuário, um valor inicial de aceitação relativa à desatualização absoluta (DA). Este valor inicial deve significar um nível de desatualização absoluta considerado baixo e sem nenhum prejuízo significativo para as tarefas executadas com base neste mapeamento. Assim, a partir deste valor inicial determina-se o valor máximo de tolerância correspondente. Esse valor máximo indica a quantidade máxima de desatualização absoluta que o documento cartográfico poderá atingir antes de se considerar a necessidade de atualização do documento utilizado. Sendo, portanto, que a partir deste valor máximo o documento cartográfico deverá ser rejeitado pelo usuário.

Para se determinar o valor máximo para a desatualização absoluta, o método aqui estabelecido, utiliza-se dos valores de Áreas sob a Curva de Distribuição Normal

(Tabela no anexo 2 extraída de KOOSIS, 1974) segundo o seguinte critério:

- a) estabelece-se, a critério do usuário, um valor de desatualização inicial (p_i) baixo para cada uma das principais feições cartográficas, tal que este valor (p_i) não implique em prejuízo relevante no desempenho das tarefas executadas para o propósito de uso do mapeamento estabelecido;
- b) a partir de cada ' p_i ', extrai-se da 'Tabela da Curva Normal' padronizada, a abscissa correspondente (z_i);
- c) multiplica-se a abscissa z_i por três ($3z_i$);
- d) extrai-se da 'Tabela da Curva Normal' o valor da área correspondente à abscissa $3z_i$. Esse valor é, então, estabelecido como limite máximo ($LM_{p(i)}$) tolerável para a desatualização absoluta daquela feição cartográfica.

A Tabela 7.3 relaciona alguns valores obtidos pelo critério descrito.

TABELA 7.3 – VALORES DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA): INICIAL (p_i), E MÁXIMO (LM_i)

p_i	z_i	$3z_i$	LM_i
0,05	0,13	0,39	0,15
0,10	0,26	0,78	0,28
0,15	0,39	1,17	0,38
0,20	0,53	1,59	0,44
0,25	0,68	2,04	0,48
0,30	0,85	2,55	0,50

Assim, o usuário deve estabelecer os p_i , ou seja, os valores de desatualização absoluta inicial a cada feição cartográfica (NI) tal que não implique em prejuízos significativos ao seu trabalho, e a partir destes valores de p_i , por meio da 'Tabela da Curva Normal', encontram-se os limites máximos de desatualização absoluta tolerável a cada uma das principais feições cartográficas ($LM_{p(i)}$). Porém, é conveniente que o usuário obtenha um único valor para o limite máximo da desatualização absoluta referente às principais feições de sua base cartográfica, e não um valor para cada feição. Assim, conforme a maior conveniência aos propósitos de utilização da base cartográfica, o usuário adotará uma das duas possibilidades: para o caso em que os valores iniciais ' p_i ' sejam significativamente diferentes entre si recomenda-se que seja

estabelecido como valor de limite máximo para a desatualização absoluta o menor valor de $LM_{p(i)}$ encontrado; ou, em caso contrário, o usuário adotará o valor médio dos $LM_{p(i)}$ encontrados, calculado pela seguinte equação:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (7.4)$$

onde \bar{p} é a média aritmética dos valores de p_i inicialmente arbitrados e n é o número de p_i considerados.

Para as demais feições cartográficas, as não estabelecidas como principais, defini-se como valor de limite máximo para a desatualização absoluta o maior valor de $LM_{p(i)}$ encontrado para as principais feições cartográficas. Abaixo, segue-se um exemplo de aplicação do critério de determinação do limite máximo para a desatualização absoluta (DA) de uma Base cartográfica.

Considerando uma aplicação de cadastro urbano, as feições cartográficas (ou Níveis de Informação - NI) mais significativas para esta aplicação, por exemplo, poderiam ser: edificações, lotes, quadras e arruamento. Considerando os dados da Tabela 7.2, descreve-se abaixo os procedimentos para obtenção dos limites máximos toleráveis para a desatualização absoluta de cada feição, conforme critério estabelecido na Tabela 7.3.

Após, o usuário ter determinado os Níveis de Informação (NI) principais aos seus objetivos deverá, em seguida, arbitrar um valor percentual inicial (p_i) de ‘desatualização absoluta – DA’ para cada uma das n principais feições cartográficas (NI). Por exemplo, para as feições citadas na Tabela 7.2, estabelecem-se valores iniciais (p_i) para a desatualização absoluta referente às edificações, loteamento, quadras e arruamentos (p_{ed} , p_{lt} , p_{qd} , p_{ar}). Com isto, da ‘Tabela da Curva Normal’ extraem-se os valores de abscissa correspondentes aos p_i (z_{ed} , z_{lt} , z_{qd} , z_{ar}); efetua-se a multiplicação de z_i por 3; e extraem-se da Tabela os valores correspondentes a $3z_i$, obtendo-se assim os valores de limite máximo para a desatualização absoluta de cada uma das principais feições cartográficas (LM_{ed} , LM_{lt} , LM_{qd} , LM_{ar}). Estes procedimentos se apresentam na Tabela 7.4.

TABELA 7.4– DETERMINAÇÃO DO LIMITE MÁXIMO (LM) DE DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA

CLASSES DOS N.I. (FEIÇÕES)	Desatualização Absoluta (DA)	p_i Desatualização Absoluta (DA) Inicial	z_i Valores correspondentes a p_i	$3 z_i$	LM_i Valores correspondentes a $3z_i$
Edificações	Ed (42,8%)	0,18	0,47	1,41	0,42
Loteamento	It (26%)	0,10	0,26	0,78	0,28
Quadras	Qd (12%)	0,05	0,13	0,39	0,15
Arruamento	Ar (20%)	0,12	0,31	0,93	0,32
Média	25,2%	0,1125	0,28	0,84	0,30

N.I. – Níveis de Informação.

A última linha da Tabela 7.4, indica a média aritmética dos valores de LM_i encontrados para as principais feições cartográficas. A determinação deste, é feita através do seguinte procedimento:

- calcula-se o valor médio (\bar{p}) dos valores arbitrados de p_i , através da equação 7.4;
- extraí-se da ‘Tabela da Curva Normal’ o valor da abscissa (z) correspondente a \bar{p} , e multiplica-se por 3, obtendo-se $3z$.
- extraí-se da ‘Tabela da Curva Normal’ o valor correspondente a $3z$.

Desta forma, considerando que as diferenças entre os valores iniciais de p_i não sejam significativas, adota-se como limite máximo (LM_p) tolerável para a desatualização absoluta das principais feições a média aritmética dos $LM_{p(i)}$, ou seja, $LM_p = 30\%$, conforme consta na Tabela 7.4. E adota-se como limite máximo tolerável para a desatualização absoluta das feições secundárias (LM_s) o maior valor encontrado para $LM_{p(i)}$, ou seja, para este exemplo, LM_s é igual a 42% (Tab.7.4). Assim, obtém-se dois valores, LM_p e LM_s , para o limite máximo de desatualização absoluta da Base cartográfica. Sendo conveniente estabelecer apenas um valor (LM) á esta questão o usuário, segundo suas necessidades, deve eleger como valor de LM, ou o limite máximo de desatualização absoluta encontrado para as principais feições ($LM_p = 30\%$), ou o limite máximo da desatualização absoluta definido pela média aritmética entre os valores de LM_p e LM_s , conforme a equação (7.5):

$$LM = (LM_p + LM_s)/2 \quad (7.5)$$

A partir da equação (7.5), para este exemplo, fica estabelecido que:

$$LM = (0,30 + 0,42)/2 = 0,36 \quad (7.6)$$

Assim, para o caso de se adotar a média aritmética entre os valores de LM_p e LM_s na determinação de um único valor para o limite máximo de desatualização absoluta da base cartográfica (LM), tem-se, neste exemplo, que LM é igual a 36%. E será este o valor a ser considerado na definição dos intervalos de classe a serem estabelecidos para a variável ‘Desatualização Absoluta (DA)’ (Tab. 7.5). Porém, a análise de aceitação ou não da Base cartográfica quanto ao nível de desatualização absoluta deverá ser feita através dos dois valores determinados, ou seja, considerando o valor de LM_p para as principais feições, e o valor de LM_s para as demais feições. Qualquer uma das feições cartográficas selecionadas como principal não deverá ser aceita neste mapeamento se apresentar o valor de desatualização absoluta maior que 30%, e qualquer uma das demais feições (secundárias) não deverá ser aceita se ultrapassar o valor de 42% de desatualização absoluta. Havendo um ou mais Níveis de Informação com o valor de desatualização absoluta (DA_i) superior ao valor calculado para o LM correspondente, haverá a necessidade de atualização ou de re-mapeamento, conforme análise da relação custo-benefício que o usuário deverá fazer.

Citando como exemplo os valores de desatualização absoluta (DA) atribuídos às quatro feições cartográficas principais apresentadas na Tabela 7.2, observa-se que os valores (DA) existentes nos NIs referentes à: loteamento ($DA_{lt} = 26\%$), quadras ($DA_{qd} = 12\%$), e arruamento ($DA_{ar} = 20\%$), não ultrapassam o limite máximo de 30% ($LM = 30\%$). Porém, o NI referente às edificações ($DA_{ed} = 42,8\%$) ultrapassa o valor de LM_p indicando a necessidade do usuário rejeitar este documento cartográfico até que seja atualizado ou substituído por outro mais atual. A mesma análise poderá ser feita nos demais NI, caso haja interesse do usuário e a disponibilidade de dados necessários. Uma vez constatado que os principais NI da base cartográfica possuem valor de Desatualização Absoluta (DA_i) menor ou igual ao valor calculado de LM correspondente, LM_p ou LM_s , procede-se a média aritmética destes valores (DA_i). Assim, um único valor de Desatualização Absoluta (DA) é associado à base cartográfica. Neste exemplo, desconsiderando o fato de que o DA_{ed}

ultrapassa o LM, tem-se que o valor de DA é 25,2% $((42,8+26+12+20)/4)$, e é este o valor a ser normalizado no intervalo $[0, 1]$ em função do Limite Máximo (LM) e classificado (Tab. 7.5) para o processamento do modelo.

7.4.1.2 Classificação da Desatualização Absoluta (DA)

A Desatualização Absoluta será classificada em 5 classes segundo os intervalos definidos no item 7.1. Todo o critério de classificação está baseado na largura dos conjuntos Fuzzy, ou seja, no intervalo de classificação onde os valores numéricos resultantes da classificação pertencem ao intervalo de maior relevância de cada classe, que é definido pelos pontos de cruzamento. Para a Desatualização Absoluta (DA) a classificação é ainda estabelecida em função do seu Limite Máximo (LM), determinado conforme item anterior (7.4.1.1). Assim, o valor de ‘DA’ da base cartográfica corresponderá a um valor ‘x’ no intervalo $[0, 1]$ de forma que o valor de LM, por ser o valor máximo admitido para a ‘DA’, corresponderá a 1. A Tabela 7.5 mostra os intervalos de classe definidos em função de LM para a variável (DA).

TABELA 7.5 – CLASSIFICAÇÃO DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA)

Classes da (DA)	Intervalos de classificação
Alta – AL	$[0,94 \text{ LM} - 1 \text{ LM}]$
Média Alta – MA	$[0,74 \text{ LM} - 0,94 \text{ LM}]$
Média – ME	$[0,49 \text{ LM} - 0,74 \text{ LM}]$
Média Baixa – MB	$[0,25 \text{ LM} - 0,49 \text{ LM}]$
Baixa – BA	$[0,00 \text{ LM} - 0,25 \text{ LM}]$

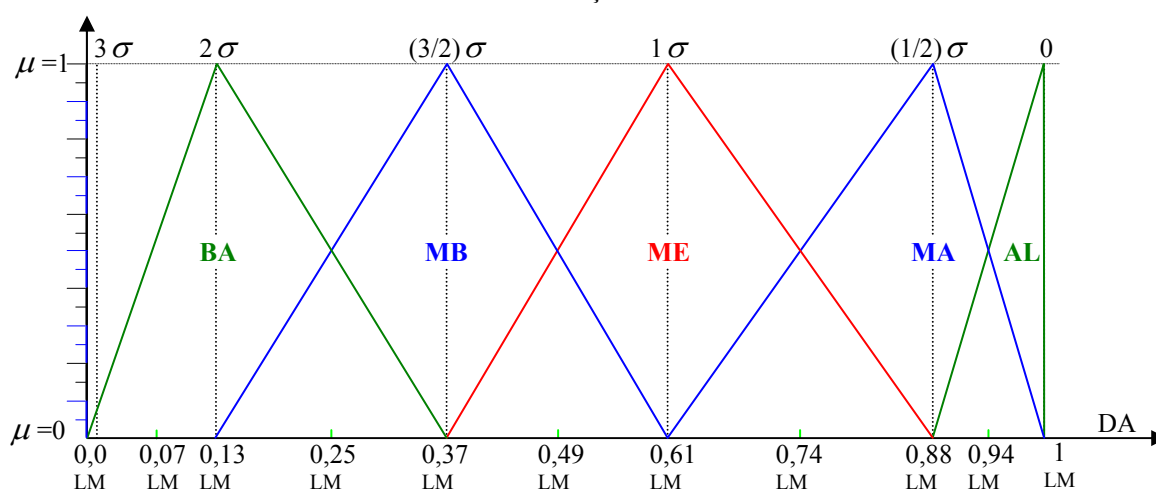
Segundo a classificação apresentada na Tabela 7.5, os conjuntos Fuzzy para a Desatualização Absoluta (DA) são construídos de acordo com o exposto no item 7.2. Então, para a variável ‘Desatualização Absoluta (DA)’ tem-se:

- $U_{DA} = \{0 \text{ LM}, 1 \text{ LM}\}$ com intervalos definido em função de LM;
- as funções de pertinência adotadas são triangulares;
- as classes são: BAIXA (BA), MÉDIA BAIXA (MB), MÉDIA (ME), MÉDIA ALTA (MA), e ALTA (AL);
- os conjuntos Fuzzy de ‘DA’ são definidos da seguinte forma:

- BA = {0,00LM 0,37LM}: com núcleo em $x = 0,13LM$;
- MB = {0,13LM 0,61LM}: com núcleo em $x = 0,37LM$;
- ME = {0,37LM 0,88LM}: com núcleo em $x = 0,61LM$;
- MA = {0,61LM 1LM}: com núcleo em $x = 0,88LM$;
- AL = {0,88LM 1LM}: com núcleo em $x = 1LM$.

O sistema das funções de pertinência relativo à variável ‘Desatualização Absoluta’ (DA) está representado na Figura 7.5.

FIGURA 7.5- SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA PARA A DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA ‘DA’



7.4.2 Indicador da Idade Tecnológica - IT

O conceito de Idade Tecnológica está sendo aqui definido para avaliar quantitativamente a operacionalização dos documentos cartográficos em relação aos recursos mais recentes da época de avaliação. Por exemplo, neste trabalho consideram-se três itens como principais parâmetros de medida para avaliar a Idade Tecnológica (IT) dos documentos cartográficos: a disponibilidade dos dados espaciais em meio digital (DD), a compatibilidade das coordenadas horizontais com o atual Sistema Geodésico de Referência adotado no Brasil (CS), bem como, a compatibilidade das coordenadas verticais com o geóide global (CGG). Assim, qualquer documento cartográfico tem um valor referente à Idade Tecnológica obtida por meio das variáveis DD, CS e CGG.

A Idade Tecnológica não está relacionada, necessariamente, às datas de confecção do mapeamento, mas, sim à compatibilidade, existente neste mapeamento, com as principais tecnologias afins disponíveis na atualidade. As inovações tecnológicas e científicas ocasionam diferentes contextos aos processos de mapeamento. Para que a utilização conjunta de produtos cartográficos elaborados em diferentes contextos tecnológicos possa ocorrer, há necessidade de transformações e adaptações para que se obtenha uma coerência entre os dados mapeados. A não consideração destas características poderá induzir a erros, e até mesmo a inviabilizar a utilização de determinados produtos cartográficos devido aos desajustes de contexto existente em produtos confeccionados em diferentes épocas. Portanto, é de extrema importância a observação destes fatos e da adequação no tratamento a cada caso.

7.4.2.1 Classificação da Disponibilidade da Base Cartográfica em meio Digital (DD)

Quanto ao armazenamento dos dados cartográficos consideram-se os meios analógicos e digitais. A maioria dos produtos cartográficos mais antigos, ainda se encontra em meio analógico, porém, parte considerável dos documentos cartográficos tem sido elaborada ou transferida para o meio digital. O meio digital viabiliza a utilização de sistemas computacionais que trazem vantagens inquestionáveis, de processamento das informações, de produção, de análise e de tomada de decisão. Assim, a demanda por produtos cartográficos em meio digital é crescente e cada vez mais a prática de transferência, ou digitalização, dos dados analógicos para o armazenamento em meio digital tem sido efetuada.

É freqüente casos em que a base cartográfica está composta por parte dos dados em meio analógico e outra parte em meio digital. Assim, é necessário realizar o levantamento da quantidade destes dados em cada meio. Com este levantamento, classifica-se esta informação de acordo com as 5 classes definidas na Tabela 7.6. Assim, ficam definidos os conjuntos Fuzzy para a variável Disponibilidade em Meio Digital – DD.

TABELA 7.6- CLASSIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE EM MEIO DIGITAL (DD)

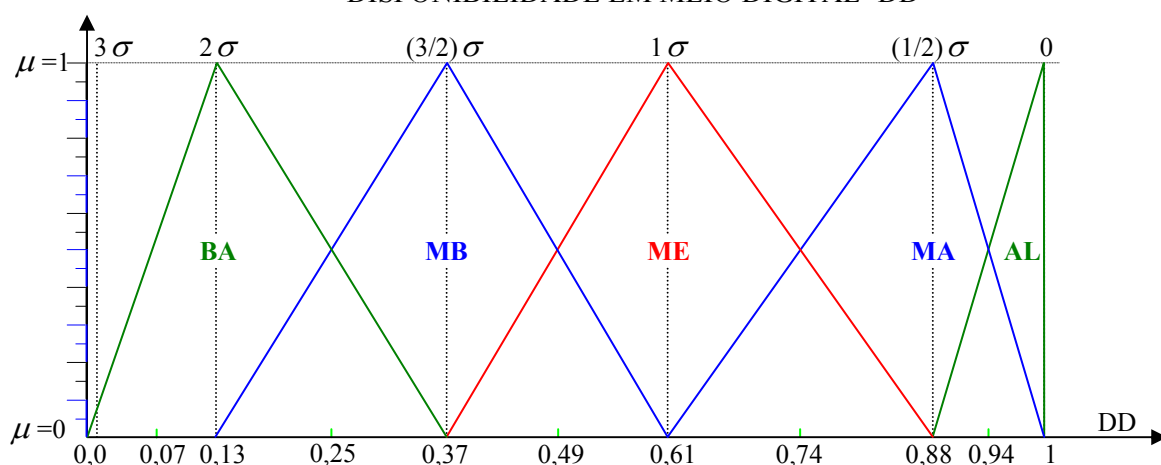
Classes da 'DD'	Intervalos de classificação
Alta – AL	[0,94 – 1]
Média Alta – MA	[0,74 – 0,94]
Média – ME	[0,49 – 0,74]
Média Baixa – MB	[0,25 – 0,49]
Baixa – BA	[0,00 – 0,25]

A partir da classificação definida na Tabela 7.6, os conjuntos Fuzzy para a variável ‘Disponibilidade em Meio Digital’ (DD) são determinados segundo a estrutura apresentada no item 7.2. Então, para a variável DD tem-se:

- $U_{DD} = \{0, 1\}$;
- As funções de pertinência adotadas são triangulares;
- as classes são: BAIXA (BA), MÉDIA BAIXA (MB), MÉDIA (ME), MÉDIA ALTA (MA), e ALTA (AL);
- os conjuntos Fuzzy de ‘DD’ são definidos da seguinte forma:
 - $BA = \{0,00 \ 0,37\}$: com núcleo em $x = 0,13$;
 - $MB = \{0,13 \ 0,61\}$: com núcleo em $x = 0,37$;
 - $ME = \{0,37 \ 0,88\}$: com núcleo em $x = 0,61$;
 - $MA = \{0,61 \ 1\}$: com núcleo em $x = 0,88$;
 - $AL = \{0,88 \ 1\}$: com núcleo em $x = 1$.

O sistema das funções de pertinência relativas à variável ‘Disponibilidade em Meio Digital’ (DD) está representado da Figura 7.6.

FIGURA 7.6- SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA DISPONIBILIDADE EM MEIO DIGITAL ‘DD’



7.4.2.2 Sistemas Geodésicos de Referência – SGR

A compatibilidade dos dados de levantamentos geodésicos de determinado mapeamento com o Sistema Geodésico de Referência - SGR em vigência, é um dado importante na determinação da Idade Tecnológica do documento cartográfico. O desconhecimento das características dos sistemas geodésicos, de suas realizações, e particularidades de sua manutenção, implicam, principalmente, no comprometimento da reunião dos documentos para a formação de uma base cartográfica. E, conseqüentemente, o desconhecimento da acuracidade posicional das feições mapeadas, também pode induzir a erros, trazendo prejuízos na eficácia de utilização da base cartográfica e até mesmo inviabilizando processos de atualização ou de mapeamento de áreas contíguas às já mapeadas, ou de outros serviços executados sobre esta base.

É relevante destacar o fato de que sendo os referenciais geodésicos definidos matematicamente, qualquer que seja o sistema de referência adotado em um dado mapeamento, sempre será possível a redução das coordenadas dos pontos mapeados ao elipsóide correspondente, e, portanto, matematicamente, torna-se possível a transformação de coordenadas de um sistema de referência para qualquer outro. Porém, embora sejam possíveis as transformações matemáticas, há que se considerar as dificuldades e limitações práticas, em virtude das particularidades envolvidas na realização e manutenção física de cada um destes referenciais. Diante disto é altamente recomendável o conhecimento do grau de dificuldade inerente aos processos de transformação de coordenadas e a compatibilidade dos dados espaciais provenientes de mapeamentos com diferentes contextos tecnológicos e científicos. Diferentes SGRs só podem ser integrados com a existência de pontos comuns entre os SGRs utilizados. No entanto, isso nem sempre ocorre. Assim, coexistem diferentes SGRs e com eles diferentes dificuldades práticas no que se refere à integração de documentos baseados em mais de um SGR. Um estudo de custo-benefício sempre deve preceder a utilização de produtos cartográficos nestas condições.

Segundo DALAZOANA (2001, p. 7, 15, 16), um Sistema Geodésico de referência (SGR), é definido com base num conjunto de parâmetros e convenções, junto a um elipsóide ajustado às dimensões da Terra e devidamente orientado, constituindo um referencial adequado para a atribuição de coordenadas a pontos sobre a superfície física. A materialização ou realização do SGR dá-se através do conjunto de pontos implantados sobre a superfície física da Terra cujas coordenadas são conhecidas. O conjunto de pontos ou estações terrestres cujas posições foram determinadas com respeito a um sistema coordenado constitui as malhas ou redes geodésicas. Didaticamente estas redes são divididas em três categorias: redes verticais, redes horizontais e redes tridimensionais. Pontos com apenas uma coordenada, a altitude, pertencem às redes geodésicas verticais. Pontos com duas coordenadas, por exemplo, latitude e longitude, pertencem às redes geodésicas horizontais. E finalmente, os pontos que possuem as três coordenadas, altitude, latitude e longitude, pertencem às redes tridimensionais. A evolução tecnológica vem trazendo ajustes aos SGRs, mudando tanto sua definição como sua realização ou materialização. Ou seja, novos ajustes são feitos tanto na determinação de um elipsóide, relativamente às dimensões da Terra e devida orientação (definição), como também na implantação de pontos sobre a superfície da Terra com coordenadas conhecidas. Instituições e empresas voltadas à produção cartográfica bem como os usuários de dados espaciais utilizam informações baseadas nos diferentes sistemas de referência e respectivas realizações que coexistem no Brasil.

7.4.2.3 Sistemas Geodésicos Brasileiros – SGB

Segundo FREITAS et al. (2004), o estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB foi iniciado na década de 40, e caracteriza-se pelo conjunto de estações que representam o controle horizontal e vertical necessários à localização e representação cartográfica no território brasileiro. O estabelecimento e manutenção do SGB são atribuições do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) através

de seu Departamento de Geodésia. A materialização do Sistema Geodésico Brasileiro dá-se através das Redes Geodésica Brasileiras – RGB: Rede Horizontal, Rede Vertical e Rede Tridimensional (Rede Nacional GPS, Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC), que são formadas pelos conjuntos de estações e coordenadas geodésicas (DALAZOANA, 2001, p.19).

Segundo o IBGE (2004), o desenvolvimento do SGB, composto pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica pode ser dividido em duas fases distintas: uma anterior e outra posterior ao advento da tecnologia de observação de satélites artificiais com fins de posicionamento. Inicialmente na década de 70, eram observados os satélites do Sistema TRANSIT. No final da década de 80, o IBGE, através do seu departamento de Geodésia, criou o projeto GPS com o intuito de estabelecer metodologias que possibilitassem o uso pleno da tecnologia do Sistema NAVSTAR/GPS (Navigation Satellite with time and Ranging / Global Positioning System), que se apresentava como uma evolução dos métodos de posicionamento geodésico até então usados, mostrando-se amplamente superior nos quesitos rapidez e economia de recursos humanos e financeiros.

7.4.2.4 Rede horizontal

O sistema, cuja implantação foi iniciada em 17 de maio de 1944, tem sido utilizado para atender as necessidades de informações posicionais para diversos fins, como apoio ao mapeamento, demarcação de unidades político-administrativas, obras de engenharia, regulamentação fundiária, posicionamento de plataformas de prospecção de petróleo, delimitação de regiões de pesquisas geofísicas, etc. Os métodos denominados clássicos (triangulação e poligonação geodésica), utilizados até 1990, foram responsáveis pela determinação de coordenadas em um conjunto de vértices, cuja ocupação era imprescindível na materialização do Sistema Geodésico de Referência. O advento NAVSTAR/GPS (*Global Positioning System*), muito superior, aos métodos clássicos, em rapidez e precisão, provocou a revisão das características do

SGB. Em 1991, o IBGE passou a empregar exclusivamente o Sistema GPS para a densificação da rede planimétrica do SGB, gerando a Rede Nacional GPS, constituindo assim a estrutura geodésica mais precisa no contexto Nacional. A operacionalização da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) em 1996 implantou o conceito de redes ‘ativas’ através do monitoramento (rastreamento) contínuo de satélites do Sistema GPS. O projeto Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), esta sendo desenvolvido com a participação de todos os países sul americanos, norte americanos e diversos países da América Central, sob coordenação do IBGE. No contexto deste projeto foi medida inicialmente em 1995 uma rede geodésica continental, na América do Sul, de precisão científica. Visando apoiar as redes nacionais sul-americanas os resultados foram oficializados em 1997 e já em 2000, nova campanha foi realizada agora envolvendo as três Américas. A integração entre a rede de referência SIRGAS com as redes existentes em outras regiões do planeta está garantida pela existência no continente de estações de operação contínua pertencentes à Rede Global do International GPS Service for Geodynamics – IGS (IBGE, 2004).

7.4.2.5 SIRGAS

Baseando-se em FREITAS, et al. (2004) tem-se que, o desenvolvimento do projeto SIRGAS compreende as atividades necessárias à adoção no continente de sistema de referência de precisão compatível com as técnicas atuais de posicionamento, notadamente as associadas ao Sistema de Posicionamento Global (GPS). Considerando a proliferação do uso do GPS, referir estes novos levantamentos a uma estrutura geodésica existente, implantada basicamente por triangulação, poligonação, trilateração, etc., e cuja precisão é pelo menos dez vezes pior que a fornecida facilmente com o GPS, implica, no mínimo, em desperdícios de recursos. Além disto a multiplicidade de sistemas geodésicos clássicos, adotados pelos países sul-americanos, dificulta em muito a solução de problemas tecnicamente simples, tais

como a definição de fronteiras internacionais. Por outro lado, a adoção do ITRF (International Terrestrial Reference Frame) como sistema de referência, além de garantir a homogeneização de resultados internamente ao continente, permitirá uma integração consistente com as redes dos demais continentes, contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de uma Geodésia “global” cujos objetivos são: a definição de sistema geocêntrico de referência para a América do Sul; estabelecimento e manutenção de uma rede de referência; e o estabelecimento e manutenção de um Datum geocêntrico (IBGE, 2004). Cabe ser lembrado que o WGS-84, com uma precisão inicial de 1,5 m, sofre sucessivas melhoras com suas realizações G730, G870 até na materialização mais recente, G1150, que pode ser considerado como totalmente compatível com o ITRF-2000.

A questão referente aos diferentes Sistemas Geodésicos de Referência adotados em mapeamentos brasileiros gera a necessidade de transformação dos parâmetros geodésicos para um único referencial geodésico. Logo, é fundamental o conhecimento das características e restrições de cada um destes sistemas.

7.4.2.6 Classificação da variável Compatibilidade com o SGR Atual (CS)

De acordo com FREITAS et al. (2004), a Tabela 7.7 apresenta os principais SGRs adotados no Brasil com suas mais significativas implicações às representações cartográficas planimétricas. Por meio da análise das características de cada SGR (Tab. 7.7, coluna: ‘Obs.’) estabeleceu-se uma classificação relativa referente à compatibilidade que cada um dos SGRs tem com o SGR atual (SIRGAS). Esta classificação é composta por 8 classes nominais (IMPOSSÍVEL, MUITO PEQUENA, PEQUENA, MÉDIA, MEDIA ALTA, GRANDE, MUITO GRANDE, e TOTAL) associadas a uma classificação quantitativa (de 0 a 7) para se diferenciar quantitativamente o grau de facilidade de migração inerente a cada um dos SGRs antigos para o SGR atual (SIRGAS).

TABELA 7.7 – CLASSIFICAÇÃO DOS SGRs PLANIMÉTRICOS QUANTO À COMPATIBILIDADE COM O SIRGAS (CS).

SGR	Origem (Datum Horiz.)	Vigên- cia	Matéria- lização	Parâm. Transf. para:	** Obs.	Compatib. SIRGAS 2000
Concepção Anterior ao SGB	Vértices Locais	1939 - 1950	Elipsóide Hayford (1924)	Não determi- nados	1, 2, 3, 4	Impossível 0
Córrego Alegre (CA)	Vértice Córrego Alegre	Décadas de 50, 60 e 70	Elipsóide Hayford (1924)	SAD-69	1, 4, 5, 6	Pequena 2
Chuá Astro Datum	Vértice: Chuá	Década de 60	Elipsóide Hayford (1924)	-	3, 4, 6	Muito Pequena 1
SAD-69 (Original)	Vértice Chuá	De 1969 a 1996,5	Elip.Ref. Int.(1967)	CA NSWC9Z2 WGS-84	7, 11	Média 3
NWL10-D NNSS (TRANSIT)	Vértice Chuá	1970	NSWC 9Z2	SAD-69	8	Média Alta 4
WGS-84 (Original)	Vértice Chuá		WGS-84	SAD-69	9	Grande 5
WGS-84 (G-730)	Vértice Chuá	1991	WGS-84 (G-730)	-	10	Muito Grande 6
WGS-84 (G-873)	Vértice Chuá	1994	WGS-84 (G-873)	-	10	Muito Grande 6
SAD-69 (1996) Reajustado	Vértice Chuá	1996	WGS-84 (G-873)	SIRGAS	11, 12	Grande 5 Rede Compl
					11	Muito Grande 6 Rede GPS Alta Prec. Total = 7
SIRGAS (GPS) WGS-84 (G-1150)	Estações da RBMC	2004*	Elipsoide GRS-80 (ITRF- 2000)	SAD-69 SAD-69 (96)	13	

* VIGÊNCIA DO SIRGAS: NOVEMBRO DE 2004 SOMENTE PARA A REDE SAD-69 (1996)

EM PONTOS HOMOLOGADOS PELO IBGE (PARA TRANSAÇÕES CADASTRASIS).

FONTE: FREITAS, et al. (2004, p. 231)

**** A descrição das observações, dos Referenciais Geodésicos (Tabela 7.7), segue abaixo:**

- 1- *Qualidade posicional desconhecida. (OBS.: os parâmetros de transformação oficiais entre CA e SAD-69, não vêm acompanhados de uma avaliação de sua precisão, assim como as coordenadas baseadas no Sistema CA.)*
- 2- *Inexistência de registros referentes às observações originais (cadernetas) e descrição completa dos métodos.*
- 3- *Inexistência de grande parte dos pontos materializados.*
- 4- *Alcance espacial limitado e deficiência de orientação. Isto afeta a precisão de bases longas e da propagação de coordenadas. Os parâmetros de transformação só devem ser aplicados para regiões próximas do Datum, em função do produto pretendido e precisão admissível. Em*

bases longas, por exemplo, 2000 km (ex. Córrego Alegre a Chui), a precisão estimada para bases referenciadas em Córrego Alegre podem apresentar um erro de até 40 metros.

- 5- *Inexistência de grande parte dos pontos materializados, mas, em algumas regiões é possível se recuperar um número suficiente de pontos e se estabelecer uma ocupação com GPS tal que sejam gerados parâmetros locais de transformação. Com isso, elimina-se a componente sistemática de longo alcance, porém, permanecem as distorções relativas da rede, que são significativas para as escalas maiores que 1:50.000. Segundo DALAZOANA (2001, p. 80, 81), “a maior parte da cartografia sistemática existente está apoiada no Sistema CA e é utilizada como base cartográfica para uma série de produtos no Brasil. Estes mapas, além de desatualizados estão vinculados a um referencial do qual não se tem controle das deformações”. Continua a mesma autora (DALAZOANA, 2001, p. 80) alertando que os parâmetros de transformação do Sistema CA para o SAD-69 apresentam variações regionais que somados aos desvios padrão elevados e as discrepâncias em relação aos parâmetros oficiais, são indicativos da inviabilidade de aproveitamento de produtos em CA para integração em SIRGAS. Do referencial Córrego Alegre constitui-se uma rede geodésica bidimensional com precisão de 10 a 20 ppm.*
- 6- *Inexistência de modelo geoidal. Rede horizontal, inicialmente baseada nos vértices da rede com Datum em Córrego alegre, porém, com mudança de Datum, orientação e elipsóide.*
- 7- *Ajustamento da rede feito através do software HAVOC (Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates) que adota a modelagem matemática da geodésia clássica, permitindo soluções somente para redes horizontais. Em consequência das limitações computacionais da época, a rede brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste (IBGE, 1996, p.5), e a precisão desta rede está em torno de 5 a 10 ppm. Tem características tridimensionais, pois, foi associada a um Geóide Gravimétrico. Para o cálculo deste Geóide Gravimétrico foi utilizado o modelo geopotencial GEMT2 (Goddard Earth Model), complementando as alturas geoidais por satélite em 521 pontos. Estas alturas foram originadas de observações Doppler e GPS efetuadas sobre a rede de nivelamento de alta precisão, subtraindo-se a altitude “ortométrica” (não consideram as observações gravimétricas) da altitude elipsoidal obtida.*
- 8- *Rede tridimensional concentrada na região Amazônica e vinculada ao SAD-69 original. Precisão métrica (1,5 m) devido à limitação da técnica utilizada, o Doppler. (DALAZOANA, 2001, p.30).*
- 9- *Rede Tridimensional para a qual foram determinados os parâmetros de translação para o referencial cartesiano do SAD-69 original que tinha precisão estimada em 1,5 m.*
- 10- *Rede tridimensional com precisão em torno de 1 a 3 ppm (DALAZOANA, 2001, p.25).*
- 11- *O deslocamento horizontal das coordenadas entre os dois sistemas, SAD-69 e SAD-69(1996), pode atingir valores maiores que 15 metros de acordo com o distanciamento do ponto origem.*
- 12- *As variações entre as duas realizações do SAD-69 (original e de 1996) são significativas apenas para as escalas iguais ou maiores a 1:10.000 quando referenciadas pela rede clássica, isto é, para a rede estabelecida por meio de GPS não existe essa limitação (DALAZOANA, 2001, p.82).*
- 13- *Para efeitos práticos a realização G-1150 do WGS-84 pode ser considerada como equivalente ao ITRF-2000.*

Considerando-se as características de cada SGR (Tab. 7.7) junto com a escala do documento cartográfico, obtêm-se o grau de Compatibilidade com os SGRs Atuais – CS. Estes se apresentam na ordem de classificação conforme a Tabela 7.8.

TABELA 7.8- CLASSIFICAÇÃO DA VARIÁVEL COMPATIBILIDADE COM OS SGR_s ATUAIS (CS)

SGR Atual	Intervalos de classificação de CS
SGR Antigos	
1 ^ª . CONCEPÇÃO	IMPOSSÍVEL – IPM [0 – 0,5]
Astro Datum CHUÁ	MUITO PEQUENA – MP [0,5 – 1,5]
Ca – Córrego Alegre	PEQUENA – PE [1,5 – 2,5]
SAD-69	MÉDIA – ME [2,5 – 3,5]
NNSS (TRANSIT)	MÉDIA ALTA – MA [3,5 – 4,5]
WGS-84 (Original)	GRANDE – GR [4,5 – 5,5]
SAD-69 (1996)	GRANDE – GR [4,5 – 5,5]
Rede Completa	GRANDE – GR [4,5 – 5,5]
WGS-84 (G-730)	MUITO GRANDE – MG [5,5 – 6,5]
WGS-84 (G-873)	MUITO GRANDE – MG [5,5 – 6,5]
SAD-69 (1996)	MUITO GRANDE – MG [5,5 – 6,5]
R. GPS Alta Precisão	MUITO GRANDE – MG [5,5 – 6,5]
WGS-84 G-1150	TOTAL – TT [6,5 – 7]

FONTE: FREITAS, et al. (2004, p. 234)

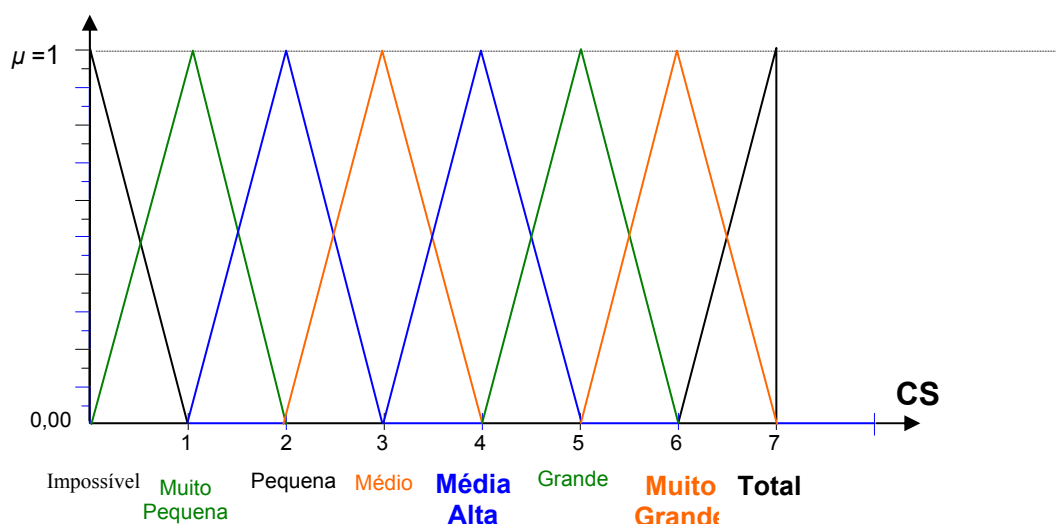
Sendo que a base cartográfica pode ser composta por mais de um documento cartográfico, cabe ao usuário classificar cada documento de acordo com o estabelecido na Tabela 7.8 e efetuar uma média, aritmética ou ponderada de acordo com a relevância de cada documento, entre os valores de classificação. O usuário obterá um valor variando de 0 a 7, o qual será utilizado como valor de entrada no sistema de conjuntos Fuzzy para a variável ‘Compatibilidade com o SGR Atual’ (CS). Então, segundo a classificação da Tabela 7.8, os conjuntos Fuzzy para a variável CS são constituídos da seguinte forma:

- $U_{CS} = \{0, 7\}$;
- as funções de pertinência adotadas são triangulares;
- as classes são: IMPOSSÍVEL (IM), MUITO PEQUENA (MP), PEQUENA (PE), MÉDIA (ME), MÉDIA ALTA (MA), GRANDE (GR), MUITO GRANDE (MG) e TOTAL (TT);
- os conjuntos Fuzzy de ‘CS’ são definidos da seguinte forma:
 - IM = $\{0 \ 1\}$: com núcleo em $x=0$;

- $MP = \{0\ 2\}$: com núcleo em $x = 1$;
- $PQ = \{1\ 3\}$: com núcleo em $x = 2$;
- $ME = \{2\ 4\}$: com núcleo em $x = 3$;
- $MA = \{3\ 5\}$: com núcleo em $x = 4$;
- $GR = \{4\ 6\}$: com núcleo em $x = 5$;
- $MG = \{5\ 7\}$: com núcleo em $x = 6$;
- $TT = \{6\ 7\}$: com núcleo em $x = 7$.

O sistema das funções de pertinência relativo à variável ‘Compatibilidade com SGR Atual’ (CS) está representado da Figura 7.7.

FIGURA 7.7- SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA COMPATIBILIDADE COM O SGR ATUAL ‘CS’



7.4.2.7 Rede altimétrica

As redes geodésicas verticais são compostas por pontos implantados na superfície da Terra. Os pontos da rede vertical são conhecidos por RN (Referência de Nível) e sua altitude ortométrica (H), referenciadas ao geóide (superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra melhor ajustada ao nível médio dos mares quando avaliado globalmente), é conhecida e determinada por técnicas de nivelamento, e são propagadas pelo nivelamento geométrico (DALAZOANA, 2001).

Segundo o IBGE (2004), em 13 de outubro de 1945, a Seção de Nivelamento (SNI) iniciava os trabalhos de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão, dando partida ao estabelecimento da Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). No distrito de Cocal, município de Urussanga, Santa Catarina, onde está localizada a Referência de Nivelamento RN 1-A, deu-se início ao nivelamento geométrico no IBGE. Em dezembro de 1946, foi efetuada a conexão com a Estação Maregráfica de Torres, Rio Grande do Sul, permitindo, então, o cálculo das altitudes das Referências de Nível - RN já implantadas. Em 1958, quando a Rede Vertical contava com mais de 30.000 quilômetros de linhas de nivelamento, o Datum de Torres foi substituído pelo Datum de Imbituba, definido pela estação maregráfica do porto de Imbituba em Santa Catarina. Tal substituição trouxe uma sensível melhora de definição do sistema de altitudes, uma vez que a estação de Imbituba contava na época com nove anos de observações, bem mais que o alcançado pela estação de Torres. O final da década de 70 marcou a conclusão de uma grande etapa do estabelecimento da Rede Altimétrica. Naquele momento, linhas de nivelamento geométrico chegaram aos pontos mais distantes do território brasileiro, nos estados do Acre e de Roraima. Na década de 80 o IBGE iniciou a informatização dos cálculos altimétricos. Esse processo possibilitou a implantação, em 1988, do Projeto Ajustamento da Rede Altimétrica, com o objetivo de homogeneizar as altitudes da Rede Altimétrica do SGB. Outro fato marcante foi o início das operações de monitoramento do nível do mar, em 1993. O IBGE, com o objetivo de melhorar a Rede Altimétrica, passou a operar a estação maregráfica de Copacabana, transformando-a em uma estação experimental para finalidades geodésicas. O IBGE opera ainda outra estação, no Porto de Imbetiba, em Macaé, Rio de Janeiro, com a perspectiva de também assumir a operação da Estação Maregráfica de Imbituba.

7.4.2.8 Classificação da variável Compatibilidade com o Geóide Global (CGG)

Segundo FREITAS et al. (2004) tem-se a Tabela 7.9 que, de modo análogo ao considerado na Tabela 7.7, classifica a compatibilidade da Rede Vertical da Rede Geodésica Brasileira (RV – RGB) com o Geóide Global.

TABELA 7.9 – CLASSIFICAÇÃO QUANTO À COMPATIBILIDADE DOS REFERENCIAIS ALTIMÉTRICOS ANTIGOS E DA RV-RGB COM O GEÓIDE GLOBAL

Met	Época	Datum Vertical	Características	* Obs.	Compatib. Geóide Global
Métodos Geométricos	Mais Antigo	Locais	(Redes locais do SGE e IGG-SP)	1	Muito Pequena MP [1 – 1,5]
	1945	RN-01 Urussanga – SC.	Início da Rede Altimétrica (SGB)	2	Pequena PQ [1,5 – 2,5]
	1948	Marégrafo Torres – RS	Primeiro ajustamento	3	Pequena PQ [1,5 – 2,5]
	1952	Marégrafo Torres – RS	Segundo ajustamento	4	Média ME [2,5 – 3,5]
	1959	Marégrafo Imbituba/SC	Terceiro ajustamento	5	Média ME [2,5 – 3,5]
	1962 / 63 / 66 / 70 / 75	Marégrafo Imbituba/SC	Quarto / quinto / sexto / sétimo e oitavo, ajustamentos parciais.	6	Média ME [2,5 – 3,5]
	~ 1980	Santana (Amapá)	Separado do contexto nacional	7	Muito Pequena (MP)
	1993 RAAP (Atual)	Marégrafo de Imbituba – SC.	Ajustamento para homogeneização das altitudes.	8	Grande GR [3,5 – 4]
Métodos Gravimétricos	1992	Marégrafo de Imbituba – SC.	Mapa Geoidal do Brasil	9	Muito Pequena MP [1 – 1,5]
	1996	Marégrafo de Imbituba – SC.	Princípios – GPS WGS-84	10	Média ME [2,5 – 3,5]

FONTE: FREITAS, et al. (2004, p. 236)

*A Descrição das características dos Referenciais Geodésicos Altimétricos (Tab. 7.9), segue abaixo:

- 1- *Não se conhece o efeito da utilização das altitudes referidas aos antigos nivelamentos realizados pelo Serviço Geográfico do Exército – SGE e Instituto Geográfico e Geodésico do Estado de São Paulo – IGG/SP, antes que o IBGE implantasse sua rede no RS e SP na década de 80.*
- 2- *1945 – Urussanga: Referencial local implícito, utilizado no início do Nivelamento Geométrico de Alta Precisão. Enquanto esta rede altimétrica não alcançou o Marégrafo de Torres.*
- 3- *1948 – Torres: Possibilita o cálculo das altitudes das RRNN já implantadas. Primeiro ajustamento manual das observações da RAAP, gerando um conjunto consistente de altitudes na região litorânea de Santa Catarina e Paraná.*
- 4- *1952 – Torres: Segundo ajustamento, que substituiu as altitudes anteriores, além de estender a rede até os Estados de Goiás, Minas Gerais, e Espírito Santo.*

- 5- 1959 – Imbituba: Terceiro ajustamento, substituindo as altitudes anteriores envolvendo as regiões centro-leste brasileira até a Paraíba. As diferenças entre as altitudes não se mantiveram constantes (entre 6 e 9 cm), por tratar-se de redes geometricamente diferentes.
- 6- 1962, 1963, 1966, 1970, 1975 – Imbituba: Seguiram-se os ajustamentos parciais manuais.
- 7- 1980 – Santana: Refere-se ao NMM no Porto de Santana, AP, por volta de 1980. Tal NMM é influenciado pelas águas fluviais, possibilitando um significativo afastamento desse referencial em relação a um futuro Datum Vertical Continental do SIRGAS. Há necessidade de se investigar a respeito da participação ou não das altitudes referidas à Santana na elaboração do Mapa Geoidal do Brasil de 1992 (MGB-92), e da existência de um adequado parâmetro de transformação entre Santana e Imbituba.
- 8- 1993 – Imbituba: Ajustamento para homogeneização das Altitudes da Rede Altimétrica do SGB. Maior rigor nos cálculos das altitudes com a consideração da redução pseudo-ortométrica. As altitudes derivadas deste ajustamento evidenciam elevadas distorções na RAAP crescente para a região central do Brasil. Isto ocorre pela inexistência de altitudes ajustadas anteriormente, ou seja, depois do último ajustamento manual. Desta forma é pertinente uma investigação sobre o impacto deste fato em produtos de mapeamento, destas regiões, que eventualmente tenham utilizado as altitudes não ajustadas (antes de 1993).
- 9- Método Gravimétrico – 1992: Mapa geoidal com ondulações na precisão absoluta de 3,0 m e precisão relativa de 1,0 cm/km. Recomenda-se aqui um levantamento dos fatos para averiguar a existência ou não de parâmetro de transformação para o EGM-96 – Modelo Geoidal.
- 10- Método Gravimétrico – 1996: Com o WGS84-G873 derivou-se o EGM-96 – Modelo Geoidal com precisão de 0,5 m, e precisão relativa que depende da densidade da rede gravimétrica.

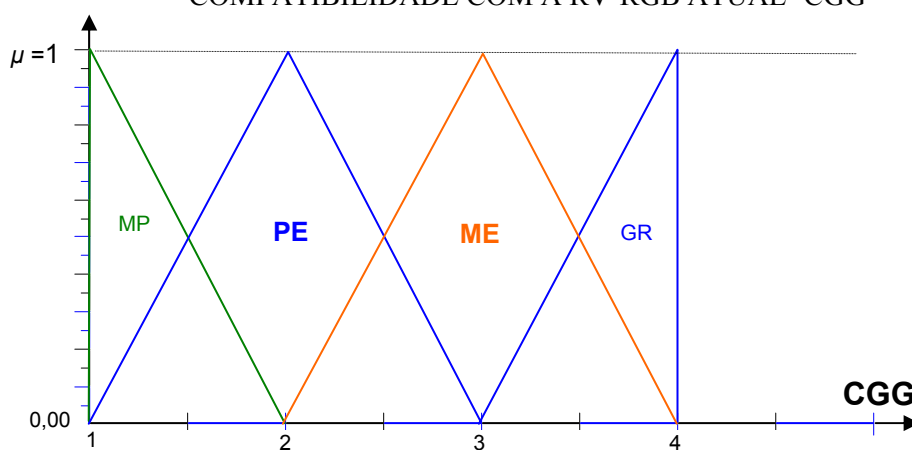
Para a altimetria, da mesma forma como para a planimetria, é importante a consideração da escala do documento cartográfico para a identificação do grau de compatibilidade com o Geóide Global – CGG. Para o caso de haver mais de um documento cartográfico na análise, vale lembrar sobre a necessidade de se efetuar uma média entre os valores de classificação da variável CGG para se obter o valor de entrada no respectivo sistema de conjuntos Fuzzy. Então, de acordo com a classificação da Tabela 7.9, os conjuntos Fuzzy para a variável ‘Compatibilidade com o Geóide Global’ (CGG) são constituídos da seguinte forma:

- a) $U_{CGG} = \{1, 4\}$;
- b) as funções de pertinência adotadas são triangulares;
- c) as classes são: MUITO PEQUENA (MP), PEQUENA (PE), MÉDIA (ME), e GRANDE (GR);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘CGG’ são definidos da seguinte forma:

- $MP = \{1\ 2\}$: com núcleo em $x = 1$;
- $PQ = \{1\ 3\}$: com núcleo em $x = 2$;
- $ME = \{2\ 4\}$: com núcleo em $x = 3$;
- $GR = \{3\ 4\}$: com núcleo em $x = 4$.

O sistema das funções de pertinência relativas à variável ‘Compatibilidade com o Geóide Global’ (CGG) está representado da Figura 7.8.

FIGURA 7.8- SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA COMPATIBILIDADE COM A RV-RGB ATUAL ‘CGG’



Segundo DALAZOANA (2001, p.89), a quantidade de aplicações que requerem informações espaciais, traduzidas através de mapas, aliada ao fato das bases cartográficas analógicas estarem sendo transformadas para o meio digital, propiciando seu uso pelos Sistemas de Informação Geográfica e por sistemas auxiliados por computador, além de facilitarem o intercâmbio com outros aplicativos que manipulam a informação espacial, torna importante o conhecimento do padrão de qualidade posicional destas bases.

O Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC permite que o usuário conheça a qualidade posicional das feições mapeadas, porém a coexistência de diferentes SGR exige uma análise cuidadosa, quanto a acuracidade e precisão, dos produtos cartográficos antes de adotá-los como componentes da base cartográfica. Essa análise será possível apenas mediante o conhecimento do sistema de referência e a materialização à qual os produtos cartográficos estão referenciados.

7.4.2.9 Classificação do Indicador da Idade Tecnológica (IT)

O Indicador Idade Tecnológica é determinado pela intersecção das variáveis DD, CS, CGG para se obter um valor no conjunto U_{IT} , cujas operações (eq. 5.12) podem ser expressa por meio da seguinte equação:

$$IT = DD \cap CS \cap CGG \quad (7.7)$$

Para isto, segue-se a classificação do indicador ‘Idade Tecnológica’ (IT), segundo os intervalos estabelecidos no item 7.1, conforme se apresenta na Tabela 7.10.

TABELA 7.10 – CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR ‘IDADE TECNOLÓGICA’ (IT)

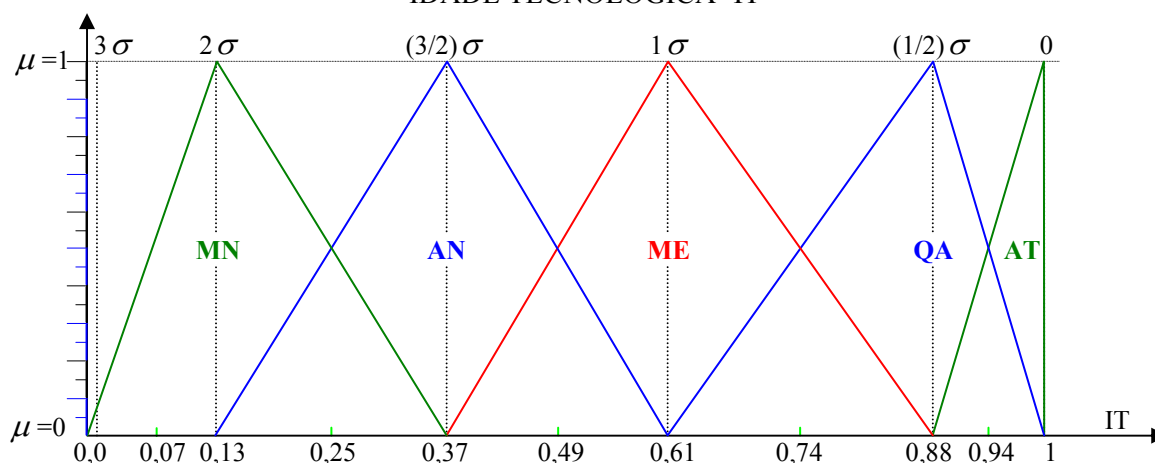
Classes da (IT)	Intervalos de classificação
Muito Antiga – MN	[0,00 – 0,25]
Antiga – AN	[0,25 – 0,49]
Média – ME	[0,49 – 0,74]
Quase Atual – QA	[0,74 – 0,94]
Atual – AT	[0,94 – 1]

Segundo a classificação apresentada na Tabela 7.10, os conjuntos Fuzzy para o (IT)’ são constituídos da seguinte forma:

- a) $U_{IT} = \{0, 1\}$;
- b) as funções de pertinência adotadas são triangulares;
- c) as classes são: MUITO ANTIGA (MN), ANTIGA (AN), MÉDIA (ME), QUASE ATUAL (QA), e ATUAL (AT);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘IT’ são definidos da seguinte forma:
 - $MA = \{0,00 \ 0,37\}$: com núcleo em $x = 0,13$;
 - $AN = \{0,13 \ 0,61\}$: com núcleo em $x = 0,37$;
 - $ME = \{0,37 \ 0,88\}$: com núcleo em $x = 0,61$;
 - $QA = \{0,61 \ 1\}$: com núcleo em $x = 0,88$;
 - $AT = \{0,88 \ 1\}$: com núcleo em $x = 1$.

O sistema das funções de pertinência relativas ao Indicador ‘Idade Tecnológica’ (IT) está representado da Figura 7.9.

FIGURA 7.9- SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA IDADE TECNOLÓGICA 'IT'



7.4.2.10 Base de regras para o Indicador IT

A base de regras é o raciocínio Fuzzy composto pelas declarações (classes) dos elementos envolvidos no modelo com os conjuntos Fuzzy de acordo com o formato básico apresentado pela expressão (5.18). O modelo utilizado é o Mamdani, cuja saída é constituída pela superposição dos conseqüentes das regras individuais (eq. 5.21) que é interpretada como sendo a interseção dos conjuntos. O critério adotado para a construção da base de regras é o conhecimento empírico que se tem do comportamento das variáveis envolvidas. Porém, além deste critério, a base de regras efetuada na combinação de classes das variáveis DD, CS e CGG para se obter valores em IT, considerou as variáveis CS e CGG com maior peso do que a variável DD. Pois, considera-se a dificuldade de conhecer o erro decorrente da utilização de dados mapeados em diferentes SGRs (CS e CGG) mais significativos na determinação da IT para o contexto de avaliação da qualidade de mapeamento, do que a dificuldade de se conhecer o erro proveniente dos processos de digitalização (DD). Assim, o critério adotado para a construção da base de regras para a IT foi considerar as componentes do conjunto intermediário, resultantes da interseção das variáveis CS e CGG (Tab.7.11), de maior peso relativamente às componentes da variável DD. Ou seja, ao combinar o valor 'PEQUENA' da variável intermediária ($CS \cap CGG$), com o valor 'BAIXA', da variável DD, o resultado imposto pela regra é 'MUITO ANTIGO', e não

‘ANTIGO’ como seria de se esperar caso o peso considerado entre as duas variáveis fosse igual. Desta maneira, se obteve uma quantidade maior de resultados com baixa classificação como, ‘MUITO ANTIGO’ e ‘ANTIGO’ para o parâmetro IT.

Segue-se a combinação das classes referentes às variáveis DD, CS e CGG, para o estabelecimento da base de regras para o Indicador IT. Inicialmente a Tabela 7.11 combina as classes das variáveis CS e CGG, produzindo uma variável intermediária com a seguinte classificação: IMPOSSÍVEL, MUITO PEQUENA, PEQUENA, MÉDIA, MÉDIA ALTA, GRANDE, e TOTAL. Estas classes intermediárias são combinadas com as classes da variável DD na Tabela 7.12, produzindo as classes resultantes para o Indicador IT. Cabe observar que na Tabela 7.11, a numeração de 1 a 29 tem apenas um caráter auxiliador para a construção da Tabela 7.13. A Tabela 7.13 relaciona os números de 1 a 29, da Tabela 7.11, na sua primeira coluna indicando que cada classe produzida pela Tabela 7.11 é combinada com as cinco classes (BA, MB, ME, MA, AL) da variável DD da Tabela 7.12.

TABELA 7.11- INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘CS’ E ‘CGG’

		Variável CGG			
Variável CS	X	MP	PE	ME	GR
	IMP	1- IMP	1- IMP	1- IMP	1- IMP
	MP	2- MP	3- MP	4- PE	5- PE
	PE	6- MP	7- PE	8- PE	9- PE
	ME	10- MP	11- PE	12- ME	13- ME
	MA	14- PE	15- PE	16- ME	17- MA
	GR	18- PE	19- PE	20- ME	21- GR
	MG	22- PE	23- PE	24- MA	25- GR
	TT	26- PE	27- PE	28- MA	29- TT

TABELA 7.12- INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘CS + CGG’ E ‘DD’

		Variável DD				
Var. Intermed. (RCP) (CS+CGG)	X	BA	MB	ME	MA	AL
	IMP	MN	MN	MN	MN	MN
	MP	MN	MN	MN	AN	AN
	PE	MA	AN	AN	AN	ME
	ME	AN	AN	ME	ME	ME
	MA	AN	ME	ME	QA	QA
	GR	ME	ME	QA	QA	AT
	TT	QA	QA	QA	AT	AT

Segue-se na Tabela 7.13 a descrição, por extenso, da combinação das classes das três variáveis CS, CGG e DD (exp. 5.18) construindo-se assim a base de regras para a determinação do Indicador IT.

TABELA 7.13 – BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR ‘IT’

continua

No.	<u>Se</u>	CS	<u>e</u>	CGG	O I é:	<u>e</u>	DD	<u>então</u>	IT
1	<u>Se</u>	IMP	<u>e</u>	-	IMP	<u>e</u>	-	<u>então</u>	MN
2	<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	MP	MP	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	MN
							MB		MN
							ME		MN
							MA		AN
3=6	<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	PE	MP		AL	<u>então</u>	AN
							BA		MN
							MB		MN
							ME		MN
4=10	<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	ME	PE	<u>e</u>	MA	<u>então</u>	AN
							AL		AN
							BA		MN
							MB		AN
5=18	<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	GR	PE	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	AN
							MA		AN
							AL		ME
							BA		MN
7	<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	PE	PE	<u>e</u>	MB	<u>então</u>	AN
							ME		AN
							MA		AN
							AL		ME
8-11	<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	ME	PE	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	MN
							MB		AN
							ME		AN
							MA		AN
9=19	<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	GR	ME	<u>e</u>	AL	<u>então</u>	ME
							BA		AN
							MB		AN
							ME		ME
12	<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	ME	ME	<u>e</u>	MA	<u>então</u>	ME
							AL		ME
							BA		AN
							MB		AN
13=20	<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	GR	ME	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	ME
							MA		ME
							AL		ME
							BA		AN

continuação

No.	<u>Se</u>	CS	<u>e</u>	CGG	O l é:	<u>e</u>	DD	<u>então</u>	IT
14	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	MP	PE	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	MN
							MB		AN
							ME		AN
							MA		AN
							AL		ME
15	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	PE	PE	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	MN
							MB		AN
							ME		AN
							MA		AN
							AL		ME
16	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	ME	ME	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	AN
							MB		AN
							ME		ME
							MA		ME
							AL		ME
17	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	GR	MA	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	AN
							MB		ME
							ME		ME
							MA		QA
							AL		QA
21	<u>Se</u>	GR	<u>e</u>	GR	GR	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	ME
							MB		ME
							ME		QA
							MA		QA
							AL		AT
22	<u>Se</u>	MG	<u>e</u>	MP	PE	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	MN
							MB		AN
							ME		AN
							MA		AN
							AL		ME
23	<u>Se</u>	MG	<u>e</u>	PE	PE	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	MN
							MB		AN
							ME		AN
							MA		AN
							AL		ME
24	<u>Se</u>	MG	<u>e</u>	ME	MA	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	AN
							MB		ME
							ME		ME
							MA		QA
							AL		QA
25	<u>Se</u>	MG	<u>e</u>	GR	GR	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	ME
							MB		ME
							ME		QA
							MA		QA
							AL		AT
26	<u>Se</u>	TT	<u>e</u>	MP	PE	<u>e</u>	BA	<u>Então</u>	MN
							MB		AN
							ME		AN
							MA		AN
							AL		ME

										conclusão
No.	<u>Se</u>	CS	<u>e</u>	CGG	O I é:	<u>e</u>	DD	<u>então</u>	IT	
27	<u>Se</u>	TT	<u>e</u>	PE	PE	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	MN	
							MB		AN	
							ME		AN	
							MA		AN	
							AL		ME	
28	<u>Se</u>	TT	<u>e</u>	ME	MA	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	AN	
							MB		ME	
							ME		ME	
							MA		QA	
							AL		QA	
29	<u>Se</u>	TT	<u>e</u>	GR	TT	<u>e</u>	BA	<u>então</u>	QA	
							MB		QA	
							ME		QA	
							MA		AT	
							AL		AT	

7.4.2.11 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador IT.

Como exemplo de aplicação, considera-se uma base cartográfica com:

- 88% das suas informações disponíveis em meio digital: $DD = 0,88$;
- a média entre compatibilidade com SGR atual: $CS = 5,9$;
- a média entre compatibilidade com geóide global: $CGG = 3,4$

Determinar a IT desta Base cartográfica.

A solução com o software MatLab, processa os sistemas de pertinência das variáveis envolvida: DD (Fig. 7.6, CS (Fig. 7.7) e CGG (Fig. 7.8), e para o Indicador IT (Fig. 7.9). Estes sistemas estão representado nas Figuras 7.10, 7.11, 7.12, e 7.13, respectivamente, produzidas pelo software MatLab:

FIGURA 7.10 – SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DA VARIÁVEL ‘DD’ (MATLAB).

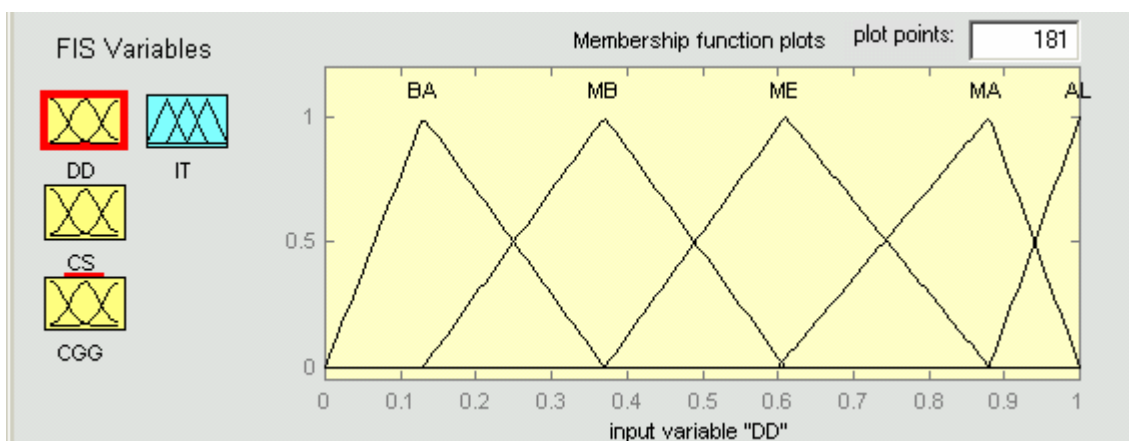


FIGURA 7.11 – SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DA VARIÁVEL ‘CS’ (MATLAB).

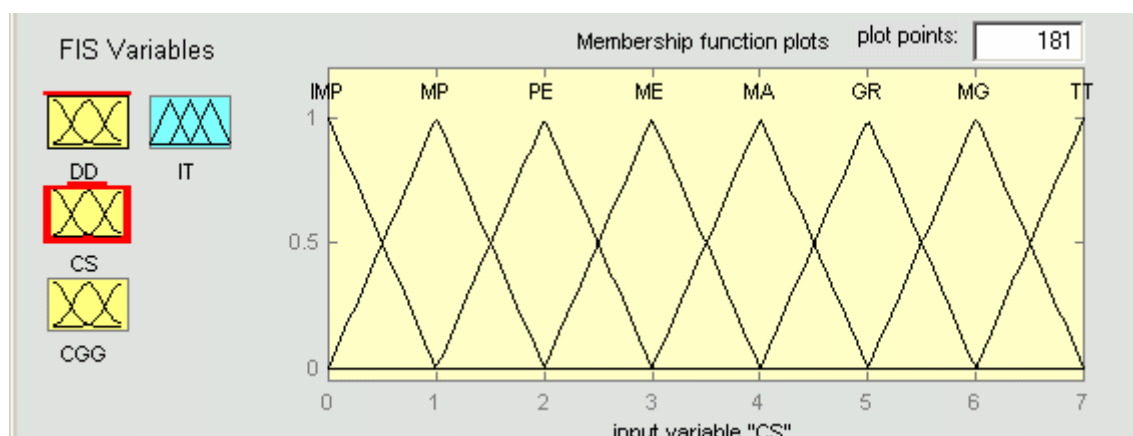


FIGURA 7.12– SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DA VARIÁVEL ‘CGG’ (MATLAB).

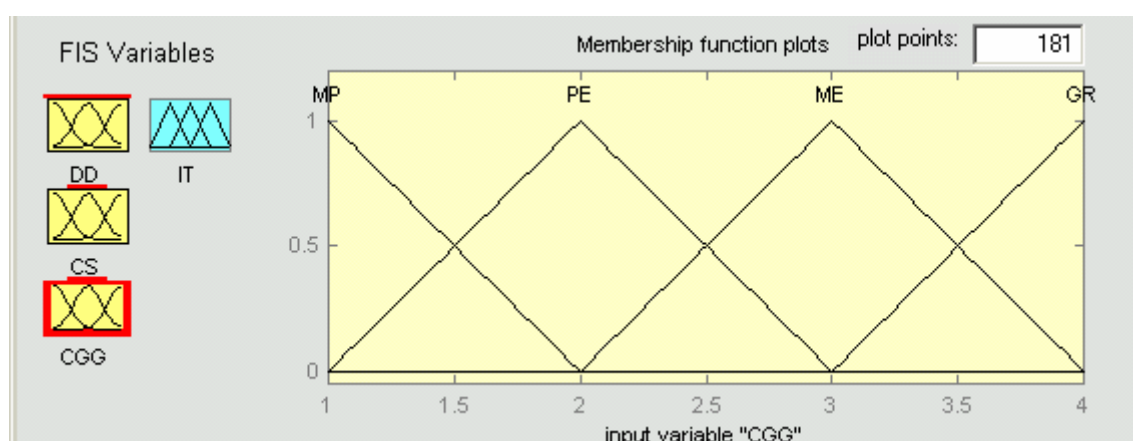
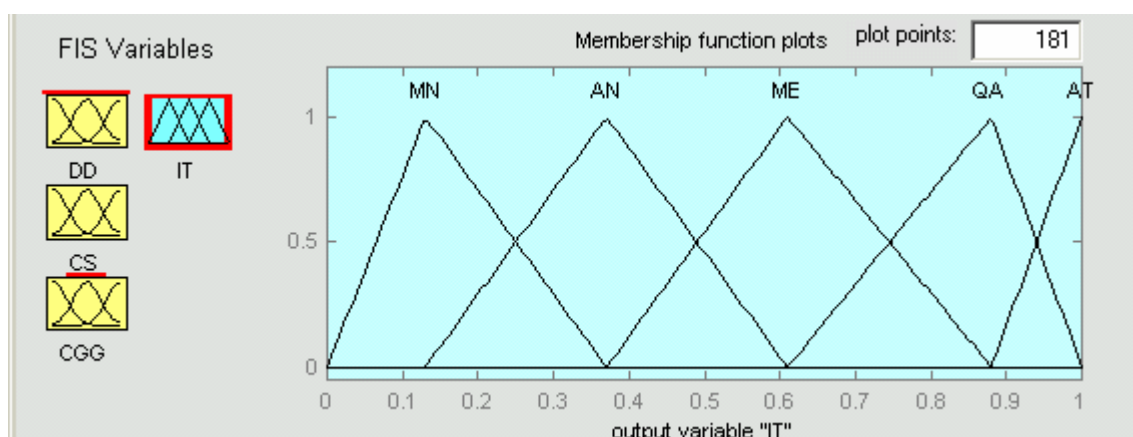


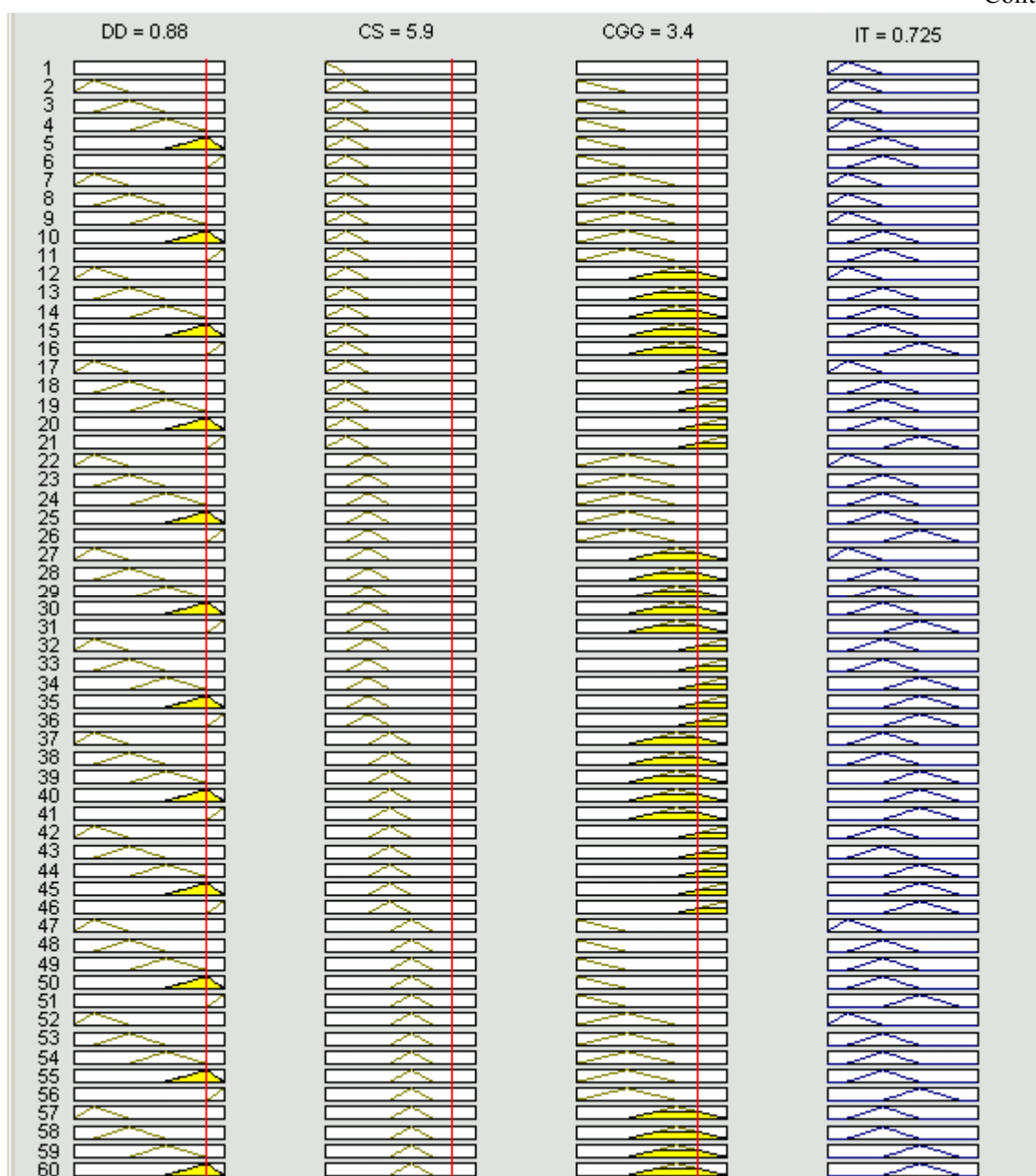
FIGURA 7.13 – SISTEMA DE PERTINÊNCIA FUZZY DO INDICADOR ‘IT’ (MATLAB).

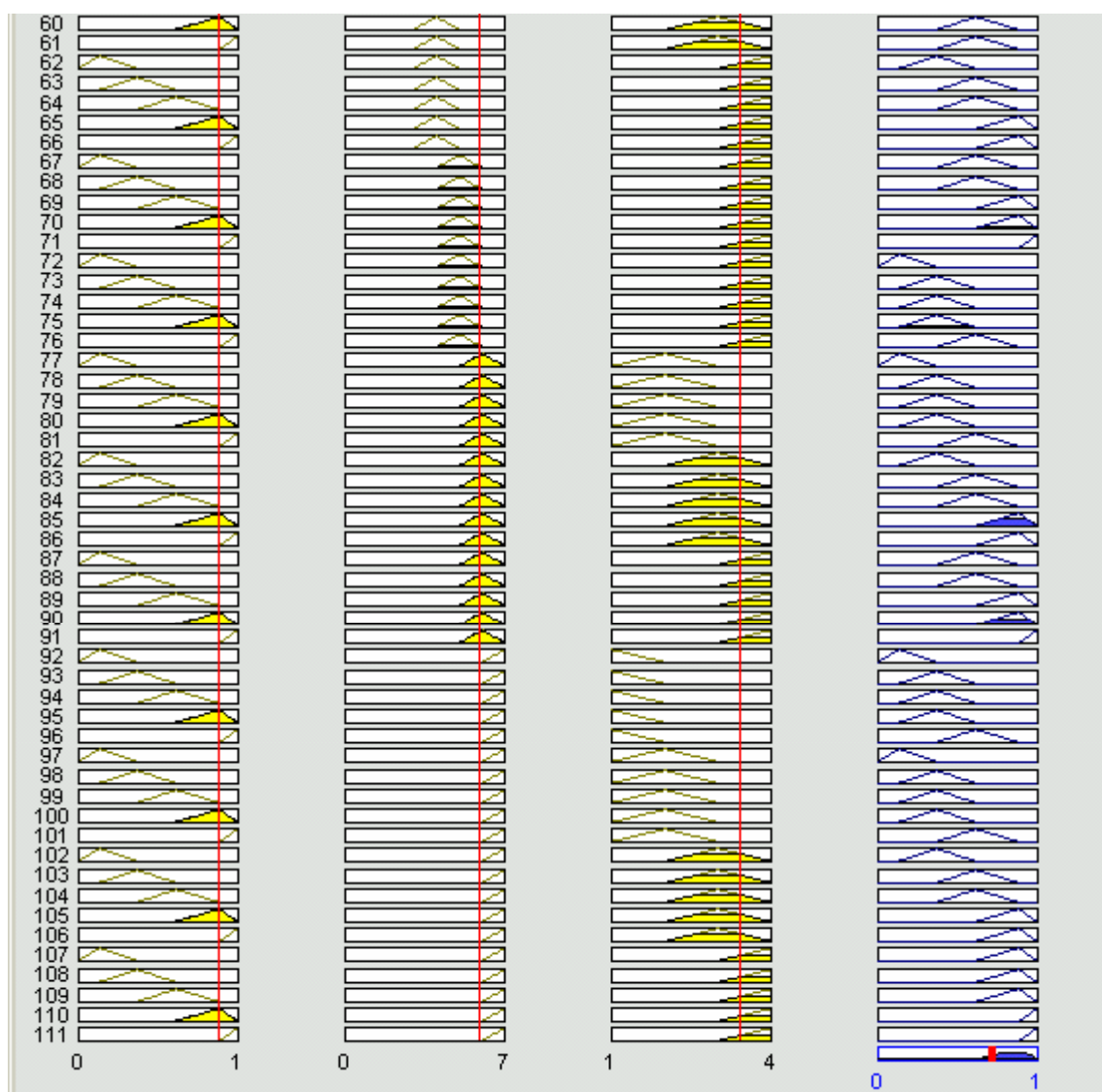


A Figura 7.14 apresentam o resultado da operação Fuzzy em Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) que processou a intersecção dos conjuntos referentes às variáveis: Disponibilidade em Meio Digital (DD), Compatibilidade com o SGR Atual (CS) e Compatibilidade com o Geóide Global (CGG) obtendo uma saída para a Idade Tecnológica (IT) com o defuzzificador igual a 0,725.

FIGURA 7.14 – RESULTADO DA INTERSEÇÃO DE: DD = 0,88, CS = 5,9, CGG = 3,4, E O DEFUZZIFICADOR 'IT = 0,725'

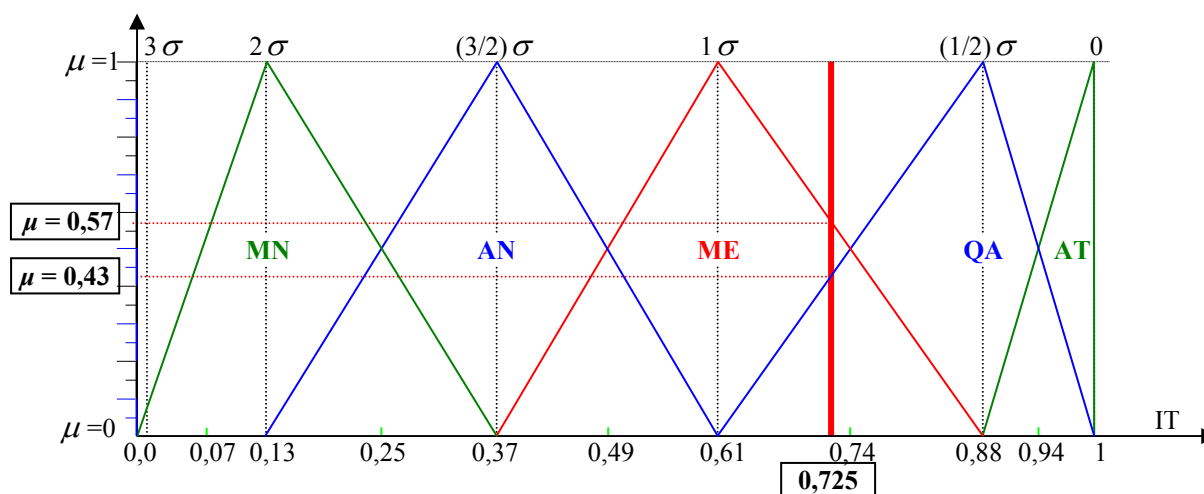
Continua





O resultado do defuzzificador, 0,725, para a Idade Tecnológica (IT) indica que a IT é classificada como MÉDIA. Pois, o defuzzificador (centróide da figura resultante da intersecção = 0,725), representado na Figura 7.15 por uma linha vertical posicionada na abscissa 0,725, intercepta dois conjuntos: ME e QA. O conjunto ME (MÉDIA) é interceptado na altura cujo valor de pertencimento é $\mu = 0,57$, enquanto que o conjunto QA (QUASE ATUAL) é interceptado na altura, cujo valor de pertencimento é $\mu = 0,43$. Assim, constata-se que a Idade Tecnológica (IT), neste caso, é MÉDIA, pois o valor de μ é maior para o conjunto ME do que para o conjunto QA, conforme mostra a Figura 7.15. Esse raciocínio de interpretação dos resultados de processamento é idêntico para os demais processamentos que se seguirão.

FIGURA 7.15 – REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR 'IT = 0,725'



7.4.3 Indicador da Velocidade de Desatualização (VD)

O Indicador da Velocidade de Desatualização cartográfica é composto pelo parâmetro Escala (ES) e pelo Indicador Fator de Modificação do Meio (FMM). O Indicador Fator Modificador do Meio, por sua vez, é composto pela interseção das variáveis de, Crescimento Populacional (CP), Projeção do Crescimento Populacional (PCP), e Consumo de Energia Elétrica (CEE). Portanto, as operações relativas à determinação do Indicador Velocidade de Desatualização podem ser expressas pelas seguintes equações:

$$\text{FMM} = \text{CP} \cap \text{PCP} \cap \text{CEE} \quad (7.8)$$

$$\text{VD} = \text{ES} \cap \text{FMM} \quad (7.9)$$

7.4.4 Parâmetro Escala (ES)

A desatualização cartográfica está diretamente relacionada com as modificações ocorridas na região desde o instante da tomada dos dados utilizados no mapeamento. As modificações ocorridas na região mapeada também serão mais significativas, para a desatualização do documento cartográfico, quanto maior for o número de feições representadas. Portanto, nos produtos cartográficos de maior escala geralmente a desatualização ocorre em menor tempo. Assim, constata-se que a

velocidade de desatualização está diretamente relacionada também com a escala de representação, pois quanto maior a escala, maior a quantidade de feições representadas e, portanto, maior é a velocidade de desatualização.

Dentro de cada aplicação de uso da Cartografia ocorre a utilização de produtos cartográficos em escalas diferentes, sendo que para uma dada aplicação a classificação de escalas grandes ou pequenas não, necessariamente, será a mesma para outra aplicação. Portanto, é necessário considerar classificações diferenciadas para cada usuário. A classificação para o parâmetro Escala é estabelecida em cinco classes: classes: MUITO PEQUENA (MP), PEQUENA (PE), MÉDIA (ME), GRANDE (GR), MUITO GRANDE (MG), variando no intervalo de 0 a 1, onde os intervalos de cada classe seguem o estabelecido no item 7.1. A Tabela 7.14 mostra os intervalos para a classificação da Escala (ES).

TABELA 7.14- CLASSIFICAÇÃO DO PARÂMETRO ESCALA ‘ES’

Classes de ES	Intervalos de classificação
MUITO PEQUENA - MP	[0 – 0,25]
PEQUENA - PE	[0,25 – 0,49]
MÉDIA - ME	[0,49 – 0,74]
GRANDE - GR	[0,74 – 0,94]
MUITO GRANDE - MG	[0,94 – 1,0]

Cada usuário define a classe a que pertence a escala de cada documento que compõe sua base cartográfica conforme o universo de escalas utilizadas em sua aplicação. A base cartográfica para cadastro urbano, por exemplo, pode classificar os documentos cartográficos da seguinte forma: escalas iguais ou maiores que 1:1.000 pertencem à classe MG, escalas menores que 1:1.000 até 1:5.000 à classe GR, escalas menores que 1:5.000 até 1:15.000 à classe ME, escalas menores que 1:15.000 até 1:20.000 à classe PE, e as escalas iguais ou menores que 1:20.000 à classe MP.

Segundo a classificação da Tabela 7.14, os conjuntos Fuzzy para a variável ‘Escala’ (ES) são constituídos da seguinte forma:

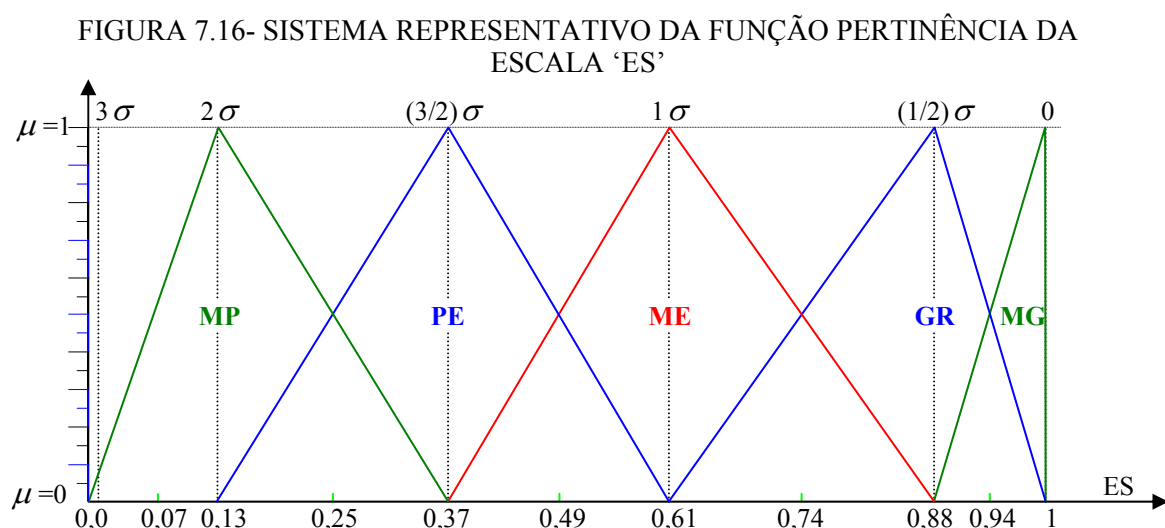
- a) $U_{ES} = \{0, 1\}$;
- b) as funções de pertinência adotadas são triangulares;

c) as classes são: MUITO PEQUENA (MP), PEQUENA (PE), MÉDIA (ME), GRANDE (GR), e MUITO GRANDE (MG);

d) os conjuntos Fuzzy de ‘ES’ são definidos da seguinte forma:

- MP = {0,00 0,37}: com núcleo em $x = 0,13$;
- PE = {0,13 0,61}: com núcleo em $x = 0,37$;
- ME = {0,37 0,88}: com núcleo em $x = 0,61$;
- GR = {0,61 1}: com núcleo em $x = 0,88$;
- MG = {0,88 1}: com núcleo em $x = 1$.

O sistema das funções de pertinência relativas à variável ‘Escala’ (ES) está representado da Figura 7.16.



7.4.5 Indicador dos Fatores que Modificam o Meio – FMM

Os produtos cartográficos expressam o “retrato” do meio mapeado em um determinado instante, mas, o dinamismo que atua sobre o meio, modificando-o constantemente, implica diretamente na desatualização destes produtos. Portanto, o Indicador ‘Fatores que Modificam o Meio’, é a razão principal pela ocorrência da desatualização dos produtos cartográficos. Essas modificações do meio podem ser determinadas através de índices relacionados com as principais causas de mudança do meio, como por exemplo, o número de pessoas residentes no local e o respectivo

consumo de energia elétrica. Estes indicativos são recomendados, principalmente para análise das mudanças do meio em regiões urbanas. Cabe ressaltar que este Indicador FMM pode ter outros indicativos se o ambiente analisado não for regiões urbanas. Pois, em regiões rurais, por exemplo, os fatores que modificam o meio com maior significância podem não ser os indicativos (CP, PCP, CEE) aqui considerados. Porém, para o caso de ambientes urbanos, conforme considerado no desenvolvimento do modelo proposto, o Indicador ‘Fatores que Modificam o Meio’ é determinado pela interseção das variáveis de Crescimento Populacional (CP), Projeção do Crescimento Populacional (PCP), e Consumo de Energia Elétrica (CEE), cujas operações podem ser expressa pela seguinte equação:

$$\text{FMM} = \text{CP} \cap \text{PCP} \cap \text{CEE} \quad (7.10)$$

7.4.5.1 Crescimento Populacional (CP)

A superfície terrestre está sob a influência de constantes alterações tanto pelos fatores abióticos como pelos fatores bióticos. Porém, em regiões urbanas, é principalmente a presença e conseqüentes ações do homem que alteram a paisagem do meio onde se encontram. Os produtos de mapeamento de regiões urbanas, normalmente, são os mais susceptíveis aos maiores níveis de desatualização cartográfica, justamente, pela maior concentração humana e número de atividades diversificadas. Portanto, o fator Crescimento Populacional tem significativa expressão na velocidade de desatualização cartográfica.

Há uma tendência mundial de crescimento da população nas regiões urbanas. Quase todo o crescimento populacional dos dias atuais até o ano de 2030 deverá estar concentrado em áreas urbanas. Estima-se que por volta de 2007, pela primeira vez na história, a população urbana ultrapassará numericamente a população rural. A maior parte deste crescimento ocorrerá nos países mais pobres e entre a população mais carente. O processo de urbanização tem se acelerado nos últimos 40 anos. Em 1960, um terço da população mundial vivia em cidades, hoje, quase metade da população e,

por volta de 2030, cerca de 60% das pessoas viverá em áreas urbanas. A proporção de pessoas vivendo em cidades nos países em desenvolvimento praticamente dobrou desde 1860, aumentando de 22% para mais de 40%. No mesmo período, nas regiões mais desenvolvidas, esse incremento variou de 61% para 76% (FNUAP, 2004).

O padrão demográfico brasileiro vem mudando desde o final da década de 60, em consequência especialmente do declínio da mortalidade a partir da década de 40, que fez a esperança de vida ao nascer subir de 41 anos em 1930 para 54 anos em 1960. A taxa de fecundidade (número de filhos por mulher), entretanto, manteve-se alta até meados da década de 60, baixando ligeiramente apenas no Sul e Sudeste e aumentando nas outras regiões. Com isso, a taxa global baixou apenas de 6,5 filhos para 5,8. E a combinação dos dois fatores – fecundidade alta, mortalidade em declínio – determinou um aumento sensível na taxa de crescimento da população neste período. Ela passou de 2,4% ao ano na década de 40 para 3,0% na década de 50 e 2,9% na década de 60. Em 1970 a taxa de fecundidade caiu de 5,8 filhos por mulher para 4,3 em 1975 e para 3,6 em 1984, o que corresponde a um declínio bastante rápido se comparado com qualquer outro país. Os dados do censo de 1991 confirmam essa tendência de rápido declínio da fecundidade no Brasil. A taxa média de crescimento da população já havia caído, entre 1980 e 1991, para 1,9% ao ano, contra 2,4% na década de 70. Esse declínio da fecundidade caracteriza uma transição demográfica (UNDP, 1996).

A variação relativa da população, ou taxa de crescimento populacional, entre 1940 e 1950, foi de 26%; entre 1950 e 1960, de 34,9%; entre 1960 e 1970, de 32,9%; e, entre 1970 e 1980, de 27,9%. Os dados mostram que os índices mais elevados ocorreram entre 1950 e 1970 e que, a partir de 1970, a taxa de crescimento populacional começou a declinar. A população urbana brasileira, por sua vez, em 1940 representava 31,2% da população total do país (41,2 milhões de pessoas); em 1960, 44,7% (70,9 milhões); e em 1980, 67,6% da população total de 119 milhões de pessoas. A taxa de variação da população urbana brasileira foi de 4,9% entre 1940 e 1950; de 8,6%, entre 1950 e 1960; de 11,2%, entre 1960 e 1970; de 11,7%, entre 1970

e 1980. Isto significa que a aceleração do processo de urbanização brasileiro ocorreu a partir da década de 60 e que é entre 1960 e 1970 que o Brasil passa a ser predominantemente urbano (ARRETCHE, 2004).

A taxa de crescimento da população significa o percentual de incremento médio da população residente, em determinado espaço geográfico, no ano considerado. O valor da taxa refere-se à média anual obtida para um período de anos entre dois censos demográficos, ou entre os dois valores (contagem ou estimativa) mais próximos. A taxa de crescimento populacional deve ser interpretada como a indicação da intensidade de crescimento anual da população residente, e é influenciada pela dinâmica da natalidade, da mortalidade e das migrações. O cálculo da taxa de crescimento populacional utiliza-se do método geométrico, cuja aplicação requer conhecimentos especializados de demografia. A fórmula utilizada é a seguinte:

$$\text{Taxa do Crescimento Populacional} = [(\sqrt[n]{PF / PI}) - 1] * 100 \quad (7.11)$$

Onde: PF = População Final; PI = População Inicial; e n = período considerado.

A Tabela 7.15 mostra o crescimento populacional de 1991 a 2000, para o Brasil, Paraná e Curitiba, e as respectivas taxas de crescimento de: 1996/2000; 1991/2000 (DATASUS, 2004).

TABELA 7.15- POPULAÇÃO E RESPECTIVAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL

REGIÃO	1991	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Taxa C.P. 1991/2000
Brasil	147.053.940	161.400.000	157.079.573	159.636.413	-	-	169.799.170	1,63
Brasil Urb.	-	-	Taxa C.P.(1996/2000) = 2,84					-
Paraná	8.448.713	-	8.994.260	9.154.360	9.258.813	9.375.592	9.563.458	1,39
PR. Urb.	-	-	Taxa C.P.(1996/2000) = 2,64					-
RM Ctba.	1.886.168	-	2.226.560	-	-	-	2.768.394	4,36
Curitiba	1.315.035	-	1.476.253	1.516.467	1.550.370	1.584.232	1.587.315	2,11

FONTE: DADOS COLETADOS DOS 'SITES' DO: IBGE E IPARDES

7.4.5.2 Projeção de Crescimento Populacional (PCP)

Segundo IBGE (2002), o método utilizado na determinação de tendências de crescimento demográfico adotado tem como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em n áreas menores, de tal forma que

seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, pré-conhecida da área maior através da soma das estimativas das áreas menores (MADEIRA & SIMÕES¹⁸, apud IBGE, 2002). A seguir apresenta-se a descrição do método:

Considera-se, então, uma área maior cuja população estimada em um momento t é $P(t)$. Subdivide-se esta área maior em n áreas menores, cuja população de uma determinada área i , na época t , é:

$$P_i(t); i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7.12)$$

Desta forma, tem-se que:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (7.13)$$

Decompõe-se, por hipótese, a população desta área i , em dois termos: $a_i P(t)$, que depende do crescimento da população da área maior, e b_i . O coeficiente a_i é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da área menor i em relação ao incremento da população da área maior, e b_i é denominado coeficiente linear de correção. Como consequência, tem-se que:

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (7.14)$$

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois Censos Demográficos. Sejam t_0 e t_i , respectivamente, as datas dos dois Censos, ao substituir-se t_0 e t_i na equação acima, tem-se que:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (7.15)$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad (7.16)$$

Através da resolução do sistema acima, tem-se que:

$$a_i = [P_i(t_1) - P_i(t_0)] / [P(t_1) - P(t_0)] \quad (7.17)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0) \quad (7.18)$$

¹⁸ MADEIRA, J. L.; SIMÕES, C. C. S. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia. Revista Brasileira de Estatística, v.33, n.129, p.3-11, jan./mar. 1972.

A taxa de crescimento populacional (TCP) é dada pela razão entre os números de População Final, de data mais recente, e de População Inicial, de data anterior, sob a raiz ‘ n ’, onde ‘ n ’ é o número de anos entre as duas Populações, conforme a seguinte equação (CEPROMAT, 2004):

$$TCP = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{PopulaçãoFinal}{PopulaçãoInicial}} \right) - 1 \right] * 100 \quad (7.19)$$

Segundo RIBEIRO (2004), o IBGE informa que hoje (2004) a população brasileira atinge 182 milhões de habitantes, representando quase o dobro (93 milhões) de pessoas em 1970. Em 2050, o contingente populacional do Brasil poderá alcançar os 259,8 milhões de habitantes. A taxa de crescimento populacional no Brasil em 2000 era de 1,5%. Os dados mostram que a taxa de crescimento da população brasileira vem decrescendo desde 1960 que era de aproximadamente 3% ao ano. Essa taxa diminuiu para 1,44% ao ano em 2004, e poderá alcançar 0,24% em 2050. Assim, a população brasileira pode atingir o chamado “crescimento zero” em 2062, apresentando a partir daí taxas de crescimento negativas. Porém, apesar do declínio da taxa de crescimento populacional para o Brasil, o número absoluto da população continua crescente, pois a taxa de crescimento é positiva. A Tabela 7.16 mostra alguns números referentes às projeções populacionais para a Região Sul, Paraná e Curitiba.

TABELA 7.16- POPULAÇÃO PROJETADA E RESPECTIVA TAXA MÉDIA GEOMÉTRICA DE CRESCIMENTO ANUAL PARA O PARANÁ E REGIÃO SUL.

Ano Região	1991	1997	2000	2005	2010	2015	2020
R. Sul	22.147.691	23.963.075	24.836.214	26.255.282	27.587.417	28.756.365	29.738.271
Sul Tx (%)	-	1,32	1,20	1,12	0,99	0,83	0,67
Paraná	8.455.924	9.154.360	9.493.540	10.042.472	10.550.170	10.992.466	11.365.404
PR. Tx (%)	-	1,33	1,22	1,13	0,99	0,82	0,67
Ctba.(total)	1.315.035	-	1.587.315	2.695.900	-	3.209.400	-
Ctba (tot) Tx (%)	-	-	-	-	-	1,76	-
Ctba. (Urb)	-	-	-	2.582.200	-	3.112.700	-
Ctba(urb)Tx (%)	-	-	-	-	-	1,89	-

FONTE: IPARDES (1999), E IPARDES (2000)

A partir de dados do IBGE, e outros órgãos públicos, constrói-se a Tabela 7.17 que indica a quantidade de municípios nacionais por classe de Crescimento da população total levantada pelo censo 2000.

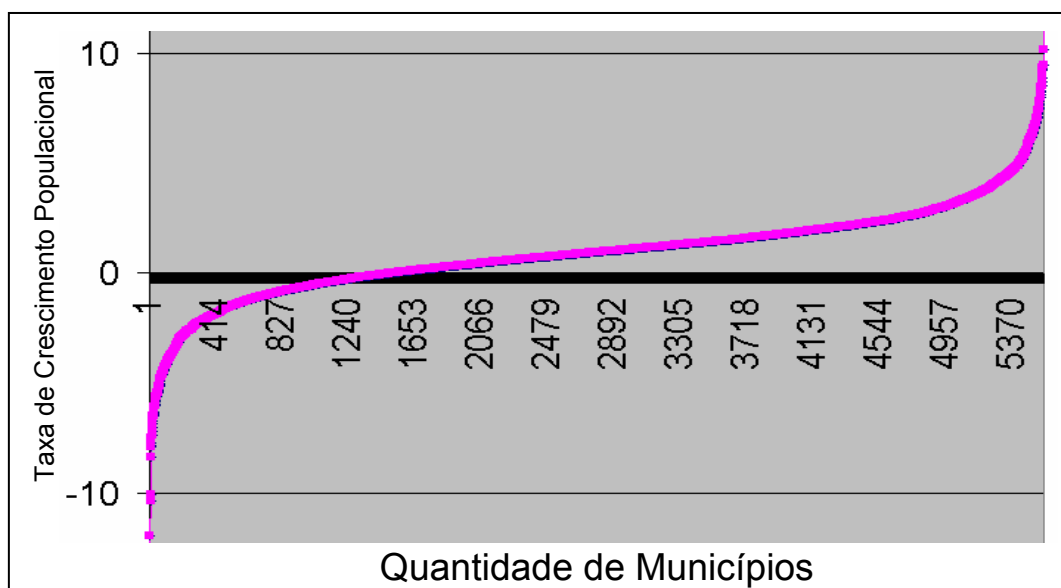
TABELA 7.17 – MUNICÍPIOS SEGUNDO A CLASSE DE CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO TOTAL (2000).

Classe de CP	< 0	0 a <1,4	>= 1,4 a < 2,8	>= 2,8
Número de Municípios	1510	1953	1388	709

FONTE: (adaptado) IPARDES (2000)

A Figura 7.17 representa a distribuição dos 5560 municípios brasileiros segundo a taxa de crescimento populacional, onde se observa que, a grande maioria dos municípios apresenta, taxa de crescimento populacional positiva, sendo que 1.510 municípios apresentam taxa de crescimento populacional inferior a zero e, portanto, 4.050 municípios têm taxa de crescimento populacional superior a zero.

FIGURA 7.17- OS 5.560 MUNICÍPIOS BRASILEIROS DISTRIBUÍDOS SEGUNDO A TAXA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL EM 2000.



S

segundo as notícias da CEPROMAT (2004), a cidade de Cuiabá, no Estado de Mato Grosso, possui uma das maiores taxas de crescimento populacional do país em 2004. Sendo que foi no final da década de 70 até 1988 que a taxa de crescimento populacional chegou a 9% e foi o maior índice registrado no país. Este município continua contabilizando um dos maiores índices de crescimento populacional do país,

que hoje (2004) chega a 2,7% ao ano, enquanto que a média nacional está em 1,6%. Esta informação revela o índice de 2,7% como sendo uma taxa alta para o crescimento populacional.

Baseando-se na informação de que a taxa de crescimento populacional de 2,7% é considerada alta, estabelece-se aqui a classificação para a variável Crescimento Populacional. Assim, se 2,7% é uma taxa alta, então, a classificação nominal para o intervalo $[1,05 - 2,45]$ da Tabela 7.18, será aqui considerada ‘ALTA’. Conseqüentemente o intervalo seguinte $[>= 2,48]$ será ‘MUITO ALTA’, e o intervalo anterior $[0 - 1,05]$ ‘BAIXO’. Assim ficam definidas as classificações nominais para os intervalos da variável CP, conforme Tabela 7.18.

TABELA 7.18- CLASSIFICAÇÃO PARA AS TAXAS DO CRESCIMENTO POPULACIONAL E PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL (CP, PCP)

Classes de CP e PCP	Intervalos de classificação
Decrescente - DE	$[< 0]$
Baixa - BA	$[0,0 < 1,05]$
Alta - AL	$[= > 1,05 - 2,45]$
Muito alta - ML	$[> 2,45]$

Para a Projeção do Crescimento Populacional (futuro) considera-se a mesma classificação e os mesmos conjuntos Fuzzy adotados para o Crescimento Populacional (histórico), pois se trata de elementos de mesma grandeza e mesma variação. Então, a Tabela 7.18 e a Figura 7.19, são consideradas tanto para a variável ‘Crescimento Populacional’ (CP) como para a variável ‘Projeção do Crescimento Populacional’ (PCP). Os valores referentes a estas variáveis para efeito dos cálculos propostos neste trabalho são os seguintes:

- para o Crescimento Populacional (histórico), considera-se a taxa de crescimento populacional determinada pelo último censo populacional (1991 – 2000).
- para a Projeção do Crescimento Populacional (futuro), considera-se a taxa de Crescimento populacional projetada para o próximo censo (2000 - 2010).

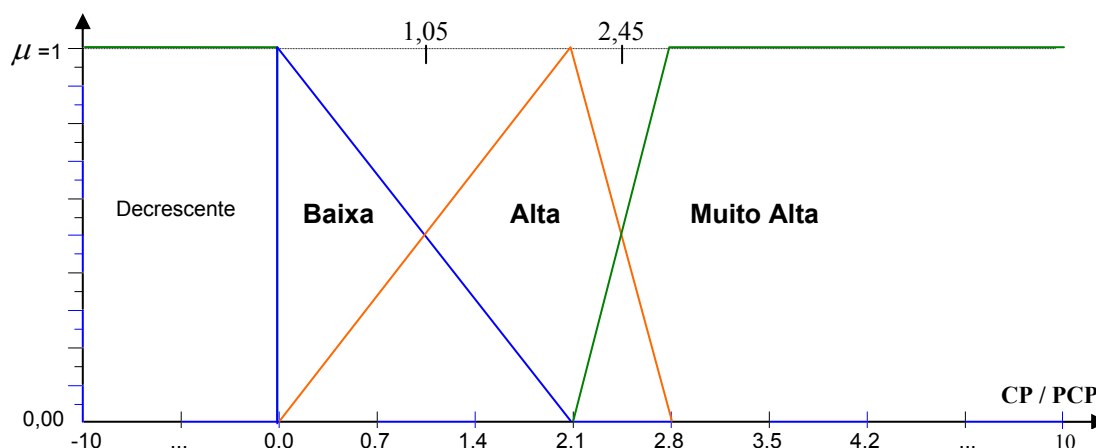
Os conjuntos Fuzzy para as variáveis ‘Crescimento Populacional’ (CP), e

‘Projeção do Crescimento Populacional’ (PCP), se definem da seguinte forma:

- a) $U_{CP/PCP} = \{-10, 10\}$; Observando que esse intervalo $[-10 \text{ e } 10]$ contempla mais de 99% dos 5.560 municípios brasileiros;
- b) As funções de pertinência adotadas são as triangulares, quadráticas e triangulares abertas. A função quadrática é aqui utilizada para representar o conjunto extremo ‘DECRESCENTE’, cujo caráter é determinístico (Booleano), o oposto dos demais, portanto, não há sobreposição a ser considerada neste conjunto. A função triangular aberta é utilizada para o conjunto extremo ‘MUITO ALTA’, devido à tendência ao infinito por uma das suas extremidades, podendo ocorrer valores acima dos limites considerados;
- c) as classes são: DECRESCENTE (DE), BAIXA (BA), ALTA (AL) e MUITO ALTA (ML);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘CP’ e ‘PCP’ são definidos da seguinte forma:
 - $DE = \{< 0\}$: todos os elementos deste conjunto possuem o valor da função de pertinência constante, iguais a $1(\mu=1)$;
 - $BA = \{0,0; 2,1\}$: com núcleo em $x = 0,0$;
 - $AL = \{0,0; 2,8\}$: com núcleo em $x = 2,1$;
 - $ML = \{> 2,1\}$: com núcleo a partir de $x = 2,8$ até o extremo superior de $U_{CP/PCP}$.

O sistema das funções de pertinência relativas às variáveis ‘Crescimento Populacional – CP’ e ‘Projeção de Crescimento Populacional – PCP’ está representado na Figura 7.189.

FIGURA 7.18 – SISTEMA REPRESENTATIVO DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA DAS VARIÁVEIS: CRESCIMENTO POPULACIONAL ‘CP’ E PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL ‘PCP’

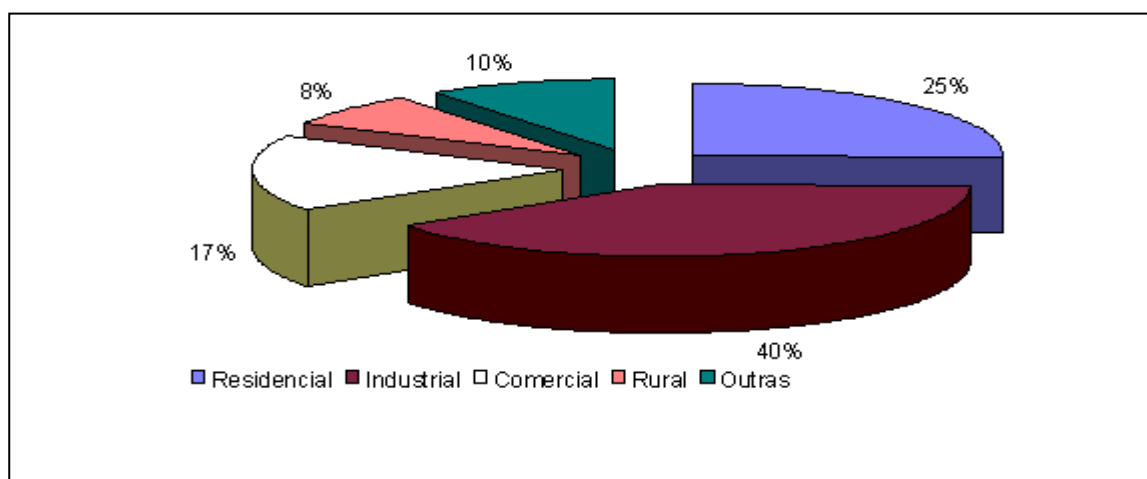


7.4.5.3 Consumo de Energia Elétrica (CEE)

Para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, um dos insumos mais importantes é a energia. E dentre as diversas fontes de energia utilizada pelo homem, a energia elétrica tem tido seu consumo crescente, principalmente nas regiões urbanas.

Segundo informações disponíveis no “site” da COPEL (2004), o Balanço Energético do Paraná – BEP, efetuado pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL em 2003, ano base 2002, informa que o consumo total de energia no Estado do Paraná, em 2002, foi de 13.516.000 toneladas Equivalentes de Petróleo – tEP. A taxa média anual de crescimento, no período de 1980 a 2002, foi de 3,4%. Segundo a COPEL as constantes substituições por outros energéticos nas indústrias e as restrições de oferta do petróleo e seus derivados tem feito o consumo da energia elétrica, por exemplo, ser crescente, principalmente a partir de 1997.

FIGURA 7.19- CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR.



FONTE: "SITE" DA COPEL (OUT/2004)

Os dados apresentados no "site" da COPEL (2004) mostram que o maior consumo de energia elétrica ocorre nos setores industrial, residencial e comercial, ou seja, nas aglomerações urbanas. A Figura 7.19 mostra a média do consumo de energia elétrica por setor, e a Tabela 7.19, mostra o consumo ocorrido em 1980, 1993 a 2002, por setores de atividade.

TABELA 7.19- CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM 1980, 1993 A 2002 (GWH).

ANO SETOR	1980	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2002	2001	2002
Industria	174	5412	5594	5887	6038	6343	6664	7015	7633	8107	8511
Taxa relat. (anterior)	-	31,1	1,03	1,05	1,02	1,05	1,05	1,05	1,08	1,06	1,05
Residencial	1060	2942	3083	3497	3894	4071	4314	4438	4582	4442	4439
Taxa relat. (anterior)	-	2,78	1,05	1,13	1,11	1,05	1,06	1,03	1,03	0,97	1,00
Comercial	749	1562	1645	1829	1997	2165	2323	2439	2621	2698	2788
Taxa relat. (anterior)	-	2,08	1,05	1,11	1,09	1,08	1,07	1,05	1,07	1,03	1,03
Público	582	1256	1310	1383	1453	1516	1577	1618	1664	1658	1680
Taxa relat. (anterior)	-	2,16	1,04	1,06	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,00	1,01
Agropecuário	183	807	850	921	972	1019	1053	1099	1146	1153	1233
Taxa relat. (anterior)	-	4,41	1,05	1,08	1,06	1,05	1,03	1,04	1,04	1,00	1,07
Energético	174	416	434	463	497	494	506	565	500	525	408
Taxa relat. (anterior)	-	2,39	1,04	1,07	1,07	0,99	1,02	1,12	0,88	1,05	0,78
TOTAL	5399	12395	12916	13980	14851	15608	16437	17174	18146	18583	19059
Taxa relat. (anterior)	-	2,30	1,04	1,08	1,06	1,05	1,05	1,04	1,06	1,02	1,03

FONTE: ADAPTADO DO "SITE" DA COPEL (OUT/2004)

A queda de 1% na taxa de consumo de energia elétrica ocorrida entre os períodos de 1980 até 2001, e em 2002, se deve à estagnação econômica presente no País em 2002, decorrente da recessão que ocorreu em nível mundial e agravada pela política econômica interna de manutenção de altas taxas de juros, o que afetou diretamente os setores produtivos. Em 2002, o consumo final de energia teve 51,5% de participação do petróleo e seus derivados, no Estado do Paraná. As constantes substituições por outras fontes de energia acarretaram decréscimo no consumo dos derivados de petróleo, que em 1980 participavam com 34,8%. Estas fontes de energia, devido à elevação no preço e restrições ambientais, apresentaram crescimento no consumo de energia elétrica a partir de 1997, participando com 28,9% em 2002, sendo a segunda fonte de energia mais utilizada no Estado. Em 2002, foram consumidos 4.251.000 tEP no setor industrial e os segmentos que mais se destacaram foram alimentos e bebidas (32,3%), papel e celulose (23,2%), outras indústrias (12,0%), cimento (11,3%), cerâmica (8,6%), química (6,7%) e os demais segmentos (5,9%). O setor residencial, em 2002, consumiu 1.275 mil tEP, 1,0% inferior às 1.286.000 tEP consumidas no ano anterior. Em relação à participação no consumo em 2002, das principais regiões do Estado, a região Leste foi responsável por 36,0%, a Centro Oeste por 19,6%, a Norte por 16,0%, a Noroeste por 14,7% e a Oeste por 13,7%. Em relação ao consumo nacional de energia primária, a participação do Paraná evoluiu de 5,6% em 1980, para 6,8% em 2002.

Quanto à participação setorial paranaense no consumo final de energia, houve acréscimo de participação em todos os setores. Ficando assim, caracterizado que o consumo de energia elétrica também é um indicativo do volume de atividades humanas em regiões urbanas. Portanto, pode ser considerado como um indicativo de alterações das feições cartográficas, e conseqüentemente, da desatualização cartográfica, principalmente nas regiões urbanas. Estas informações vêm realçar as atenções para trabalhos futuros que, eventualmente, venham a diagnosticar a vida útil do mapa em função do processo de urbanização em aglomerados habitacionais.

TABELA 7.20 – COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Tx. Cresc. Popul. e Tx CEE	Tx. Cres.Pop. 1980/1991	Tx. Cons.EE. 1980/1990	Tx. Cresc.Pop 1991/2000	Tx. Cons.EE. 1990/2000	Variação Tx CP Módulo	Variação Tx. CEE Módulo
Cidade						
Americana	2,13	6,63	1,94	3,53	0,19	5,10
Artur Nogueira	4,56	10,36	6,25	5,1	1,64	5,26
Campinas	2,24	5,27	1,52	4,23	0,72	1,04
Cosmópolis	4,07	8,96	2,36	7,02	1,71	1,94
Engenheiro Coelho	4,22	-	4,99	-	-	-
Holambra	-	-	3,3	-	-	-
Hortolândia	8,14	-	7,78	-	-	-
Indaiatuba	5,46	10,4	4,31	5,58	1,15	4,82
Itatiba	3,63	7,2	3,14	6,6	0,49	0,60
Jaguariúna	3,66	8,87	3,07	5,18	0,59	3,69
Monte Mor	5,61	13,87	4,34	9,9	1,27	3,97
Nova Odessa	4,1	8,65	2,4	6,63	1,70	2,02
Paulínia	5,32	3,21	3,83	9,01	1,49	5,8
Pedreira	2,47	6,12	2,62	3,51	0,15	2,61
Santa Barbara d'Oeste	5,99	8,06	1,78	5,79	4,21	2,27
Santo Antônio de Posse	2,5	10,43	2,73	8,58	0,23	1,85
Sumaré	7,26	8,21	3,19	1,5	4,07	6,71
Valinhos	3,02	7,91	2,28	1,54	0,74	6,37
Vinhedo	4,08	7,88	3,88	5,47	0,20	2,41
Região Metr. Campinas	3,51	6,53	2,56	5,19	0,95	1,34
TOTAL	-	-	-	-	1,26	3,28

FONTE: ADAPTADO DE: 'SITE' DA EMLASA (2004)

Embora a desatualização cartográfica esteja vinculada a diversos fatores que atuam modificando o meio, o crescimento populacional atrelado ao consumo de energia elétrica, são indicativos significativos da quantidade de modificações relativas a cada região urbanizada. Assim, para se conhecer a velocidade de desatualização cartográfica recomenda-se analisar cada região individualmente, buscando conhecer seu histórico e tendências futuras para poder melhor precisar o volume destas modificações.

Através da Tabela 7.19, observa-se que a taxa referente ao consumo de energia elétrica por setor de atividade mostra um crescimento no consumo, aproximadamente, uniforme a cada ano (1,05). Na Tabela 7.20, observa-se que o comportamento desta mesma taxa, na grande maioria das vezes, se assemelha com o comportamento da taxa de crescimento populacional, a menos de uma proporção numérica acima do dobro. Ou seja, o número médio referente à taxa de consumo de

energia elétrica é maior que o dobro (3,28) do número referente à taxa de crescimento populacional (1,26). Com base nesta observação convencionou-se estabelecer para o Consumo de Energia Elétrica (CEE) intervalos de classificação com alcance duas vezes maior do que os estabelecidos para o Crescimento Populacional (CP). Assim, à classificação para a taxa de Consumo de Energia Elétrica (CEE) fica estabelecida com a mesma proporção dos valores adotados na classificação do Crescimento Populacional (CP), porém, com os valores numéricos dobrados. A Tabela 7.21 mostra essa classificação para a variável Consumo de Energia Elétrica (CEE).

TABELA 7.21 – CLASSIFICAÇÃO PARA A TAXA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (CEE) NAS REGIÕES URBANAS

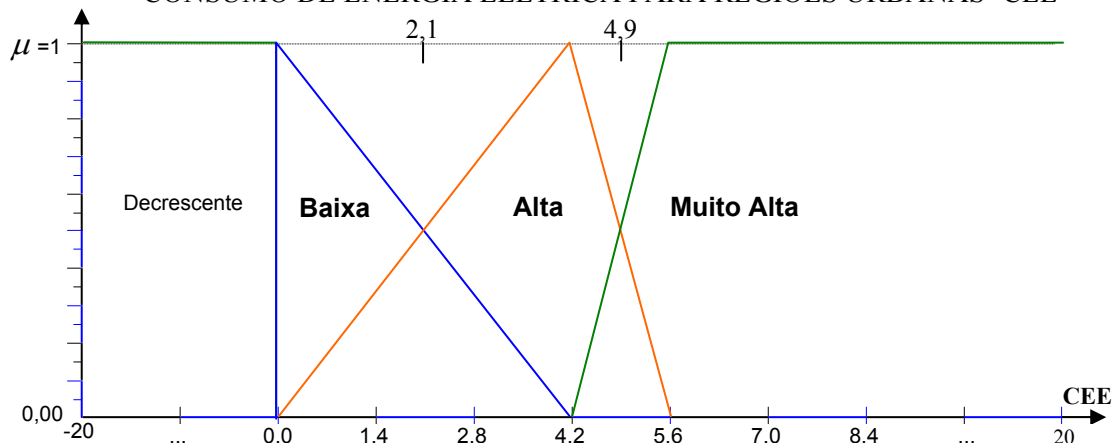
Classes de CEE	Intervalos de classificação
Decrescente - DE	$[-< 0]$
Baixa – BA	$[0,0 < 2,10]$
Alta – AL	$[= > 2,10 - 4,9]$
Muito Alta – ML	$[> 4,9]$

A partir da classificação da Tabela 7.21, os conjuntos Fuzzy para a variável ‘Consumo de Energia Elétrica’ (CEE) se definem da seguinte forma:

- a) $U_{CEE} = \{-20, 20\}$;
- b) função de pertinência adotadas são: triangulares e quadrática. Quadrática para o conjunto ‘DECRESCENTE’, e triangular aberta para o conjunto extremo ‘MUITO ALTA’. A escolha por estas funções baseia-se nos mesmos critérios apresentados para o caso das variáveis CS e CGG;
- c) as classes são: DECRESCENTE (DE), BAIXA (BA), ALTA (AL) e MUITO ALTA (ML);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘CEE’ são definidos da seguinte forma:
 - $DE = \{< 0\}$: todos os elementos deste conjunto possuem o valor da função de pertinência constante, iguais a 1 ($\mu=1$);
 - $BA = \{0,0; 4,2\}$: com núcleo em $x = 0,0$;
 - $AL = \{0,0; 5,6\}$: com núcleo em $x = 4,2$;
 - $ML = \{> 4,2\}$: com núcleo a partir de $x = 5,6$ até o extremo superior de U_{CEE} .

O sistema das funções de pertinência relativa à variável Consumo de Energia Elétrica - CEE está representado na Figura 7.20.

FIGURA 7.20 – SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA REGIÕES URBANAS ‘CEE’



7.4.5.4 Classificação do Indicador Fatores que Modificam o Meio – FMM.

O Indicador referente aos Fatores que Modificam o Meio (FMM) é composto pela interseção das variáveis ‘Crescimento da População (CP)’, ‘Projeção do Crescimento Populacional (PCP)’ e ‘Consumo de Energia Elétrica (CEE)’. Estas operações podem ser descritas pela seguinte expressão:

$$\text{FMM} = \text{CP} \cap \text{PCP} \cap \text{CEE} \quad (7.20)$$

Estabelece-se para a classificação do Indicador FMM, as 5 classes definidas no item 7.1. Logo, tem-se na Tabela 7.22 a seguinte classificação para os ‘Fatores que Modificam o Meio – FMM’.

TABELA 7.22 – CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO INDICADOR ‘FATORES QUE MODIFICAM O MEIO’ (FMM)

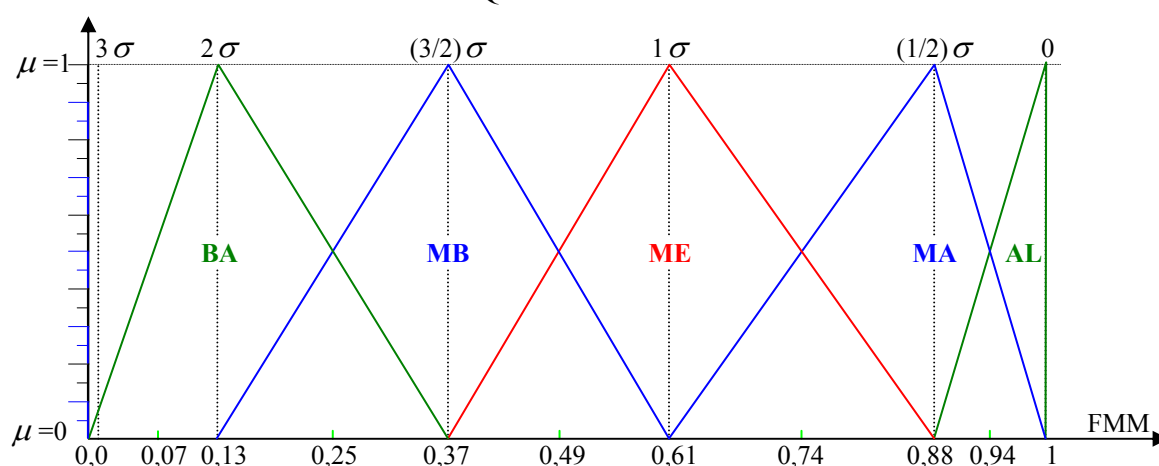
Classes de FMM	Intervalos de classificação
Alta – AL	[0,94 – 1]
Média Alta – MA	[0,74 – 0,94]
Média – ME	[0,49 – 0,74]
Média Baixa – MB	[0,25 – 0,49]
Baixa – BA	[0,00 – 0,25]

Segundo a classificação apresentada na Tabela 7.22, os conjuntos Fuzzy para a intensidade de ‘Fatores que Modificam o Meio’ (FMM) são construídos da seguinte forma:

- a) $U_{FMM} = \{0, 1\}$;
- b) as funções de pertinência adotadas são triangulares;
- c) as classes são: BAIXA (BA), MÉDIA BAIXA (MB), MÉDIA (ME), MÉDIA ALTA (MA), e ALTA (AL);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘FMM’ são definidos da seguinte forma:
 - BA = $\{0; 0,37\}$: com núcleo em $x = 0,13$;
 - MB = $\{0,13; 0,61\}$: com núcleo em $x = 0,37$;
 - ME = $\{0,37; 0,88\}$: com núcleo em $x = 0,61$;
 - MA = $\{0,61; 1\}$: com núcleo em $x = 0,88$;
 - AL = $\{0,88; 1\}$: com núcleo em $x = 1$.

O sistema das funções de pertinência relativas ao Indicador ‘Fatores que Modificam o Meio’ – FMM está representado na Figura 7.21.

FIGURA 7.21 – SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DO INDICADOR FATORES QUE MODIFICAM O MEIO ‘FMM’



7.4.5.5 Base de Regra para o Indicador FMM

O indicador de ‘Fatores que Modificam o Meio – FMM’ é composto pelas variáveis: ‘Crescimento Populacional – CP’, ‘Projeção de Crescimento Populacional – PCP’ e ‘Consumo de Energia Elétrica – CEE’. De acordo com o formato básico apresentado pela expressão (5.18), a base de regras para o Indicador FMM, se dá pela superposição dos conseqüentes das regras individuais, que significa ser a interseção dos conjuntos referentes às variáveis CP, PCP e CEE para se obter valores em FMM.

Inicialmente faz-se a interseção das variáveis CP com a PCP, produzindo uma variável intermediária aqui denominada de ‘Resultado da taxa de Crescimento Populacional’ (RCP), e a partir desta variável (RCP) faz-se a interseção com a variável CEE para obter-se uma saída na função FMM, como se segue:

Interseção das variáveis CP e PCP, produzindo uma classificação de 5 classes: DECRESCENTE (DE), BAIXA (BA), MÉDIA (ME), ALTA (AL), MUITO ALTA (ML), para a variável intermediária RCP, conforme Tabela 7.23. O critério para obtenção das classes intermediárias (RCP) considera as variáveis CP e PCP com peso igual. Isto pode ser observado na diagonal principal da Tabela 7.23, onde a combinação das variáveis de mesma classe resulta uma classe igual (BA + BA = BA). Para a combinação de classes diferentes é utilizado o conhecimento empírico para determinar a classe resultante. Por exemplo, entre a classe DECRESCENTE da variável PCP com a classe BAIXA de CP estabelece-se como classe resultante a DECRESCENTE, pois se o atual índice de crescimento populacional é baixo e a projeção futura deste índice é decrescente, então, espera-se que a tendência se cumpra e resulte a mesma classe indicada pela variável que expressa a ação futura.

TABELA 7.23 – INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘CP’ E ‘PCP’

-	Variável PCP				
Variável CP	-	DE	BA	AL	ML
	DE	1- DE	2- BA	3- BA	4- ME
	BA	5- DE	6- BA	7- ME	8- AL
	AL	9- BA	10- BA	11- AL	12- ML
	ML	13- BA	14- ME	15- AL	16- ML

Cabe observar que os números de 1 a 16, presentes na Tabela 7.23, são apenas auxiliares para a montagem da Tabela 7.25 (primeira coluna), onde cada elemento de 1 a 16 da Tabela 7.23 é combinado com cada um dos quatro elementos (DE, BA, AL, ML) correspondente à variável CEE da Tabela 7.24, a qual apresenta a interseção das variáveis RCP e CEE. O critério estabelecido na Tabela 7.24 é também o conhecimento empírico que se tem do comportamento das variáveis envolvidas.

TABELA 7.24 – INTERSEÇÃO DAS VARIÁVEIS ‘RCP’ E ‘CEE’

	-	Variável Intermediária RCP				
	-	DE	BA	ME	AL	ML
Variável CEE	DE	BA	BA	MB	-	-
	BA	BA	BA	MB	ME	MA
	AL	-	MB	ME	MA	AL
	ML	-	ME	MA	AL	AL

Finalmente se obtém a base de regras para a variável FMM com os resultados de classificação obtidos na Tabela 7.24 correspondem à interseção das variáveis CP, PCP e CEE, conforme mostra a Tabela 7.25.

TABELA 7.25– BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR ‘FMM’

continua									
No.	Se	CP	e	PCP	a RPC é:	e	CEE	então	FMM
1	<u>Se</u>	DE	<u>e</u>	DE	DE	<u>e</u>	DE BA	<u>então</u>	BA BA
2	<u>Se</u>	DE	<u>e</u>	BA	BA	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	BA BA MB ME
3=9	<u>Se</u>	DE	<u>e</u>	AL	BA	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	BA BA MB ME
4	<u>Se</u>	DE	<u>e</u>	MA	ME	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	MB MB ME MA
5	<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	DE	DE	<u>e</u>	DE BA	<u>então</u>	BA BA
6	<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	BA	BA	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	BA BA MB ME

									conclusão
No.	Se	CP	e	PCP	a RCP é:	e	CEE	então	FMM
7	<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	AL	ME	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	MB MB ME MA
8	<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	MA	AL	<u>e</u>	BA AL MA	<u>então</u>	ME MA AL
10	<u>Se</u>	AL	<u>e</u>	BA	BA	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	BA BA MB ME
11	<u>Se</u>	AL	<u>e</u>	AL	AL	<u>e</u>	BA AL MA	<u>então</u>	ME MA AL
12	<u>Se</u>	AL	<u>e</u>	MA	MA	<u>e</u>	BA AL MA	<u>então</u>	MA AL AL
13	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	DE	BA	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	BA BA MB ME
14	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	BA	ME	<u>e</u>	DE BA AL MA	<u>então</u>	MB MB ME MA
15	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	AL	AL	<u>e</u>	BA AL MA	<u>então</u>	ME MA AL
16	<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	MA	MA	<u>e</u>	BA AL MA	<u>então</u>	MA AL AL

7.4.5.6 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador FMM

A base cartográfica considerada neste exemplo de aplicação segue com os seguintes dados:

- o índice de crescimento populacional da região mapeada é: $CP = 2,11$;
- o índice da projeção do crescimento populacional da mesma região é: $PCP = 1,80$;
- o índice de consumo de energia elétrica da região mapeada é: $CEE = 4,67$.

Determinar qual o valor dos FMM para esta base cartográfica.

A solução com o software MatLab, analogamente à descrição do processamento do Indicador IT (item 7.4.2.11), considera o sistema de pertinência para

o processamento das variáveis CP e PCP (Fig. 7.18), CEE (Fig. 7.20), e para o Indicador FMM (Fig. 7.21), conforme representado nas Figuras 7.22, 7.23, 7.24, 7.25, respectivamente.

FIGURA 7.22 – CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘CP’ (MATLAB).

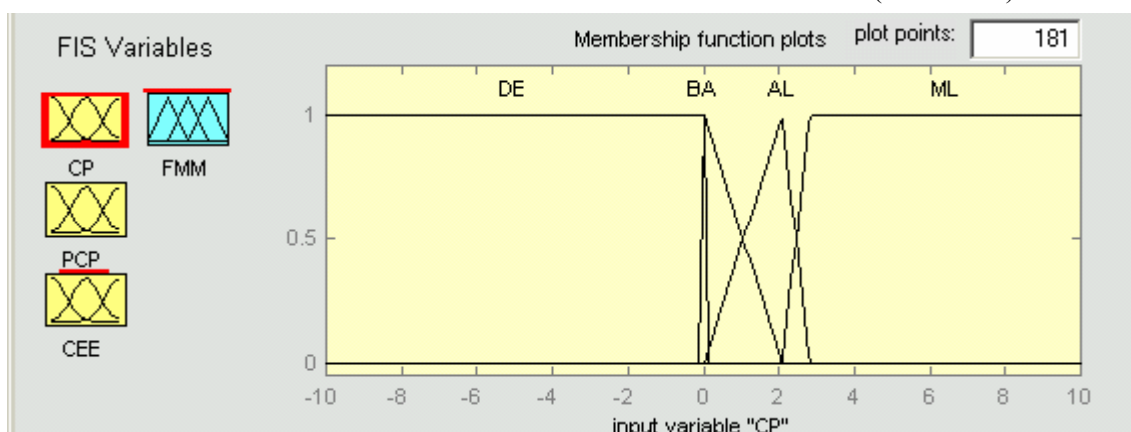


FIGURA 7.23 – CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘PCP’ (MATLAB).

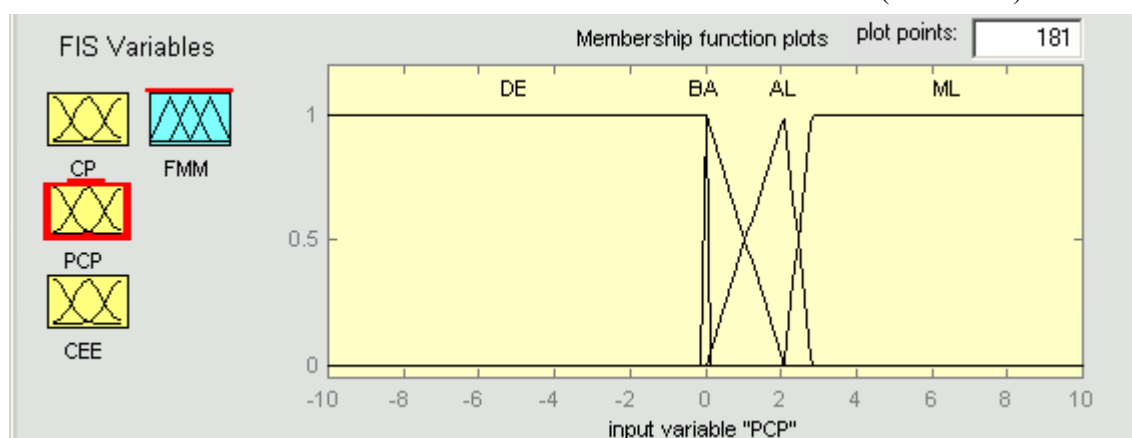


FIGURA 7.24– CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘CEE’ (MATLAB).

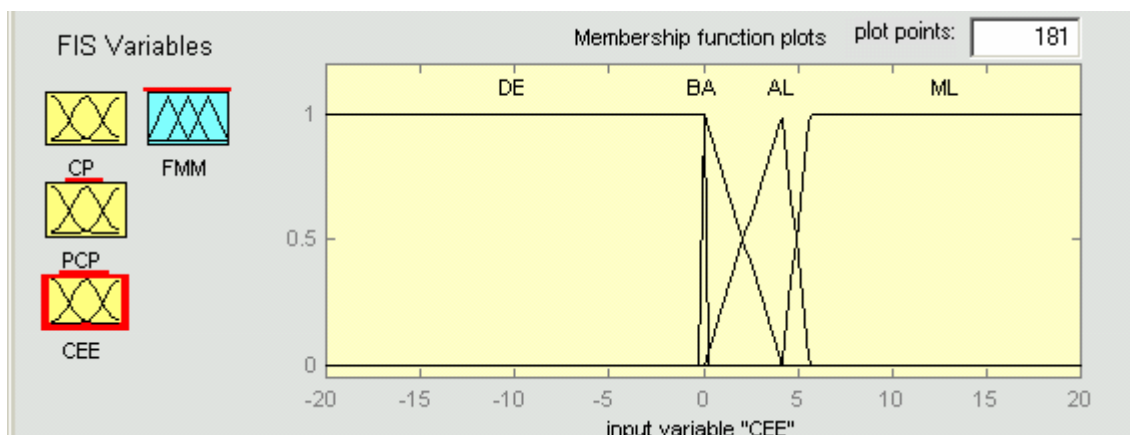
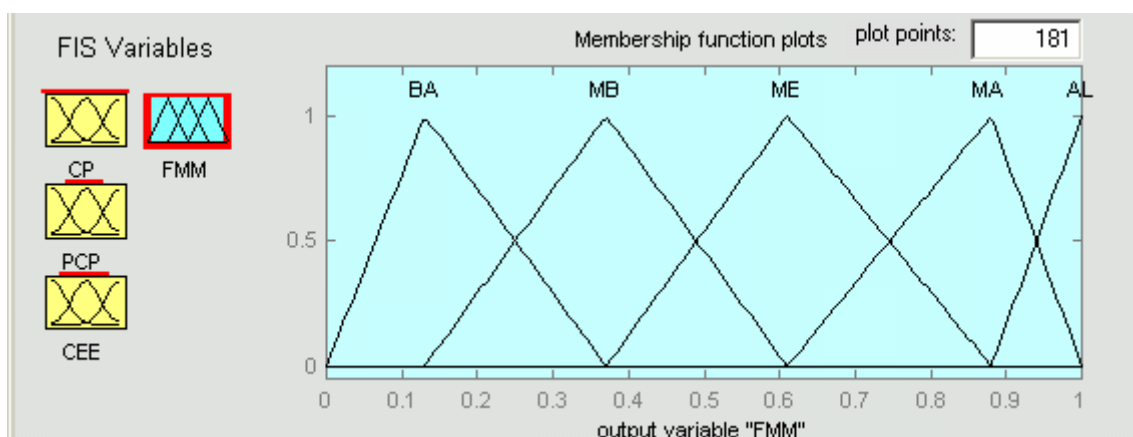


FIGURA 7.25 – CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘FMM’ (MATLAB).



A Figura 7.26 apresenta o resultado da operação Fuzzy, de intersecção dos conjuntos referentes às variáveis: Crescimento Populacional (CP), Projeção do Crescimento Populacional (PCP), e Consumo de energia Elétrica (CEE). Com o resultado desta operação, obteve-se um valor para o defuzzificador de Fatores que Modificam o Meio (FMM) igual a 0,711.

O resultado do defuzzificador, 0,711, para o Indicador Fatores que Modificam o Meio (FMM), tem o mesmo processo de interpretação descrito para o resultado obtido para o Indicador IT no item 7.4.2.11. Assim, o FMM é classificado como MÉDIA, por apresentar um valor maior de pertencimento ($\mu = 0,63$) à este conjunto do que para o conjunto MÉDIA ALTA cujo valor de pertencimento é $\mu = 0,37$. Este resultado está representado na Figura 7.27.

FIGURA 7.26 – RESULTADO DA INTERSEÇÃO: CP = 2,11, PCP = 1,80 E CEE=4,67, E O DEFUZZIFICADOR ‘FMM = 0,711’

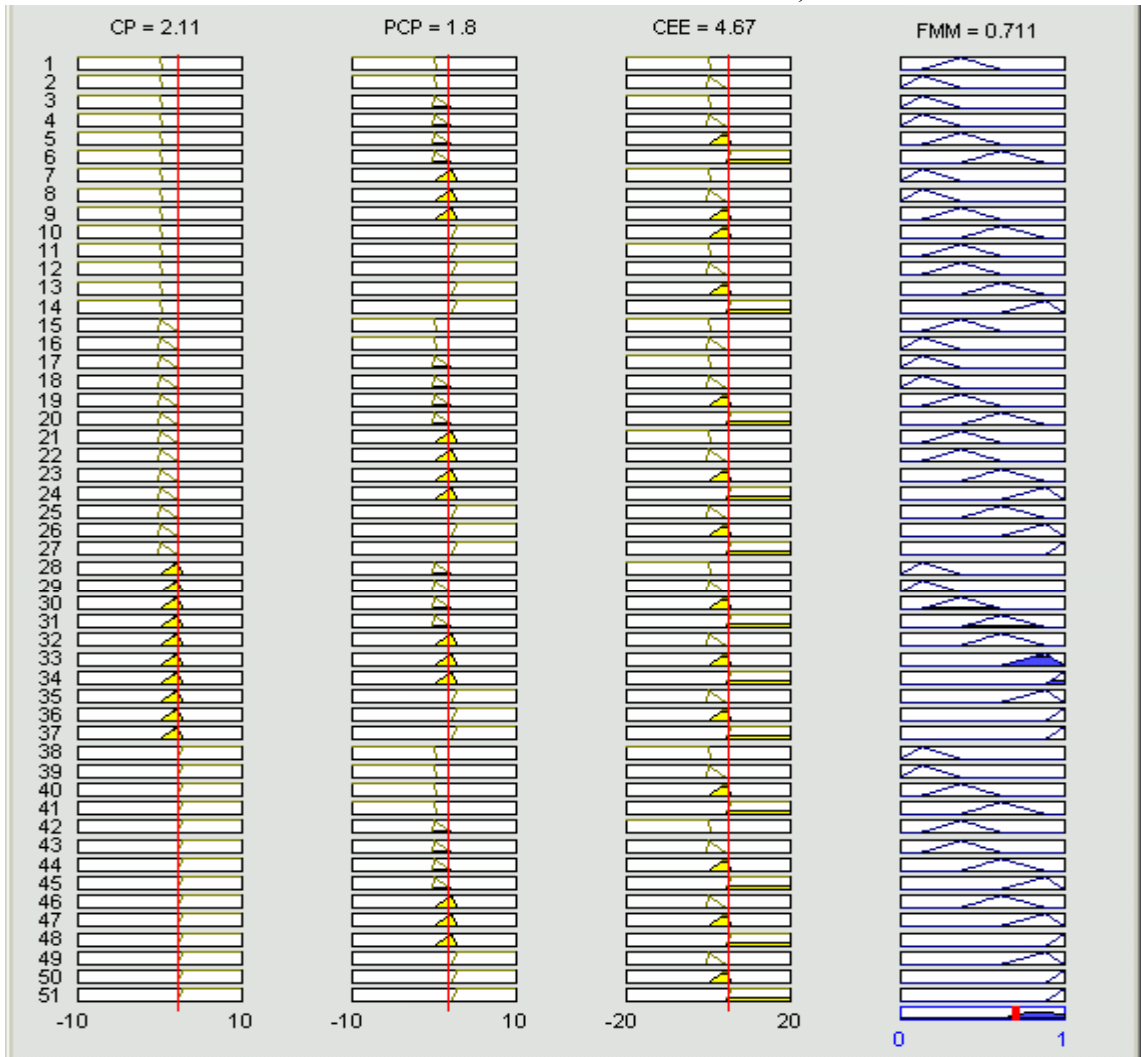
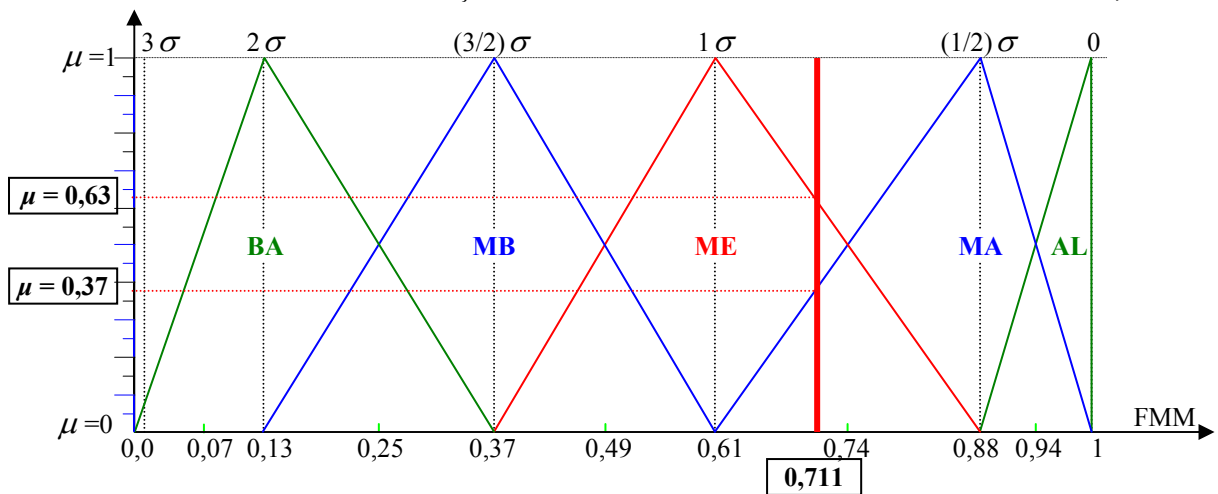


FIGURA 7.28 – REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR ‘FMM = 0,711’



7.4.6 Conjuntos Fuzzy para o Indicador de Velocidade de Desatualização - VD

O Indicador referente à Velocidade de Desatualização cartográfica (VD), é composto pela interseção dos elementos ‘Escala’ e ‘Fator que Modificam o Meio’. Estas operações podem ser expressas pela seguinte equação:

$$VD = ES \cap FMM \quad (7.21)$$

Ao Indicador de VD, se estabelece a classificação com cinco níveis, conforme definido no item 7.1, da forma como se apresenta na Tabela 7.26.

TABELA 7.26 – CLASSIFICAÇÃO DA VELOCIDADE DE DESATUALIZAÇÃO ‘VD’

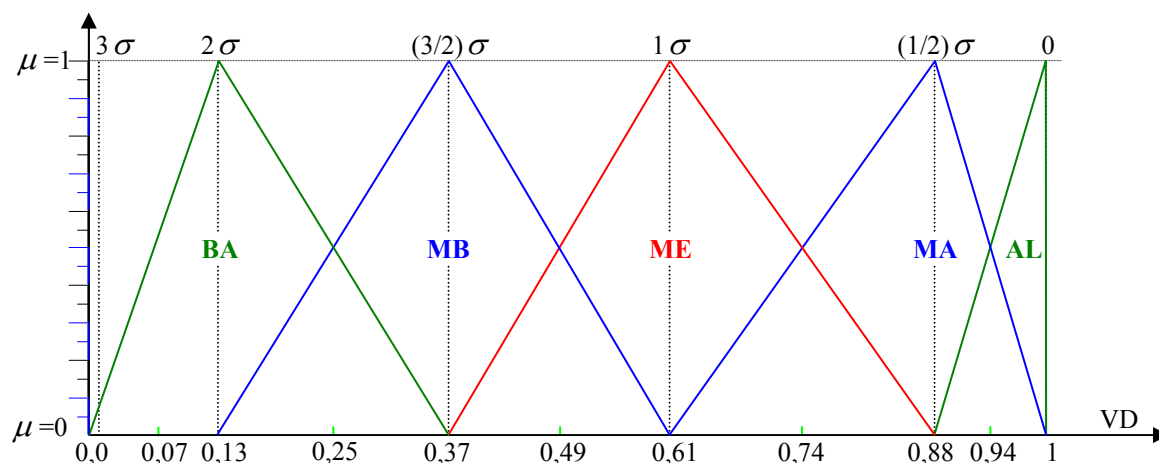
Classes da VD	Intervalos de classificação
Alta – AL	[0,94 – 1]
Média Alta – MA	[0,74 – 0,94]
Média – ME	[0,49 – 0,74]
Média Baixa – MB	[0,25 – 0,49]
Baixa – BA	[0,00 – 0,25]

Segundo a classificação da Tabela 7.26, os conjuntos Fuzzy para o Indicador ‘Velocidade de desatualização’ (VD) são constituídos da seguinte forma::

- a) $U_{VD} = \{0, 1\}$;
- b) as funções de pertinência adotadas são triangulares;
- c) as classes são: BAIXA (BA), MÉDIA BAIXA (MB), MÉDIA (ME), MÉDIA ALTA (MA), e ALTA (AL);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘VD’ são definidos da seguinte forma:
 - BA = {0,00 0,37}: com núcleo em $x = 0,13$;
 - MB = {0,13 0,61}: com núcleo em $x = 0,37$;
 - ME = {0,37 0,88}: com núcleo em $x = 0,61$;
 - MA = {0,61 1}: com núcleo em $x = 0,88$;
 - AL = {0,88 1}: com núcleo em $x = 1$.

O sistema das funções de pertinência relativas ao Indicador ‘Velocidade de Desatualização’ (VD) está representado da Figura 7.28.

FIGURA 7.28- SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA VELOCIDADE DE DESATUALIZAÇÃO 'VD'



7.4.6.1 Base de Regra para o Indicador Velocidade de Desatualização – VD

O indicador ‘Velocidade de Desatualização – VD’ é composto pela variável: ‘Escala – ES’, e pelo Indicador ‘Fatores que Modificam o Meio – FMM’. A base de regras para se obter valores de VD é efetuada (exp. 5.18) pelo método Mandani, ou seja, pela superposição dos consequentes das regras que combinam as classes atribuídas às variáveis ES e FMM. O critério utilizado nesta combinação, além do conhecimento empírico que se tem sobre o comportamento das variáveis envolvidas, atribuiu-se um peso ligeiramente maior para a variável Escala. Estes critérios devem atender as necessidades do usuário. Assim, a interseção da variável ES e do Indicador FMM se apresenta na Tabela 7.27.

TABELA 7.27 – INTERSEÇÃO DOS VALORES DE: ‘ES’ E ‘FMM’

-	Parâmetro ES					
	-	MP	PE	ME	GR	MG
Indicador FMM	BA	BA	BA	MB	MB	ME
	MB	BA	MB	MB	ME	ME
	ME	MB	MB	ME	ME	MA
	MA	MB	ME	MA	MA	AL
	AL	ME	ME	MA	AL	AL

Portanto, a base de regras para o Indicador VD segue-se conforme a Tabela

7.28.

TABELA 7.28– BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR VD

Se	ES	e	FMM	então	VD
Se	MP	e	BA	então	BA
Se	MP	e	MB	então	BA
Se	MP	e	ME	então	MB
Se	MP	e	MA	então	MB
Se	MP	e	AL	então	ME
Se	PE	e	BA	então	BA
Se	PE	e	MB	então	MB
Se	PE	e	ME	então	MB
Se	PE	e	MA	então	ME
Se	PE	e	AL	então	ME
Se	ME	e	BA	então	MB
Se	ME	e	MB	então	ME
Se	ME	e	ME	então	ME
Se	ME	e	MA	então	MA
Se	ME	e	AL	então	AL
Se	GR	e	BA	então	MB
Se	GR	e	MB	então	ME
Se	GR	e	ME	então	ME
Se	GR	e	MA	então	MA
Se	GR	e	AL	então	AL
Se	MG	e	BA	então	ME
Se	MG	e	MB	então	ME
Se	MG	e	ME	então	MA
Se	MG	e	MA	então	AL
Se	MG	e	AL	então	AL

7.4.6.2 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador VD

São valores referentes à base cartográfica considerada neste exemplo de aplicação os seguintes dados:

- a) a média obtida pela classificação das escalas que compõem a base cartográfica é: $ES = 0,49$;
- b) o valor obtido desta base cartográfica para o Indicador $FMM = 0,645$.

Determinar qual a VD desta base cartográfica.

Os sistemas de pertinência considerados no processamento do Indicador VD, utilizados pela solução através do software MatLab estão representados pela Figuras 7.29, 7.31 e 7.32, as quais correspondem aos elementos ES (Fig. 7.16), FMM (Fig. 7.21) e VD (Fig. 7.28), respectivamente.

FIGURA 7.29 – CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘ES’ (MATLAB).

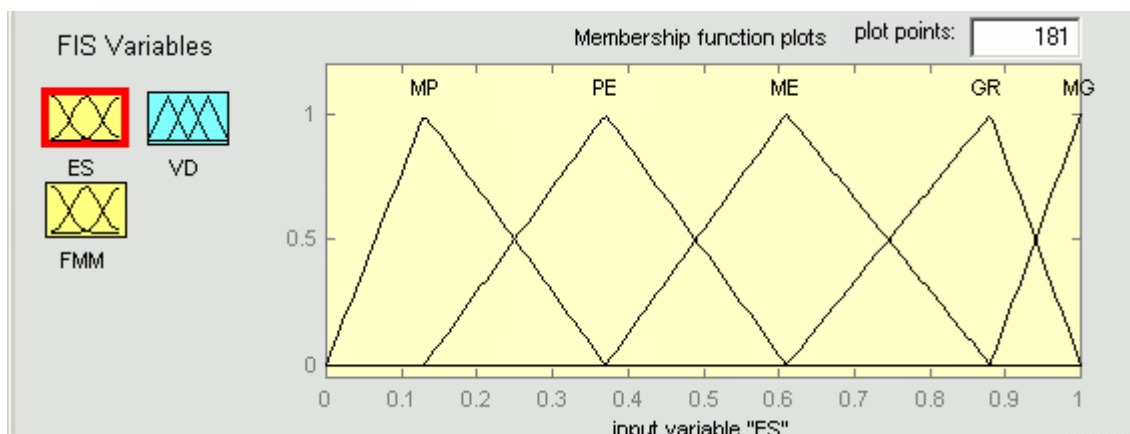


FIGURA 7.30 – CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘FMM’ (MatLab).

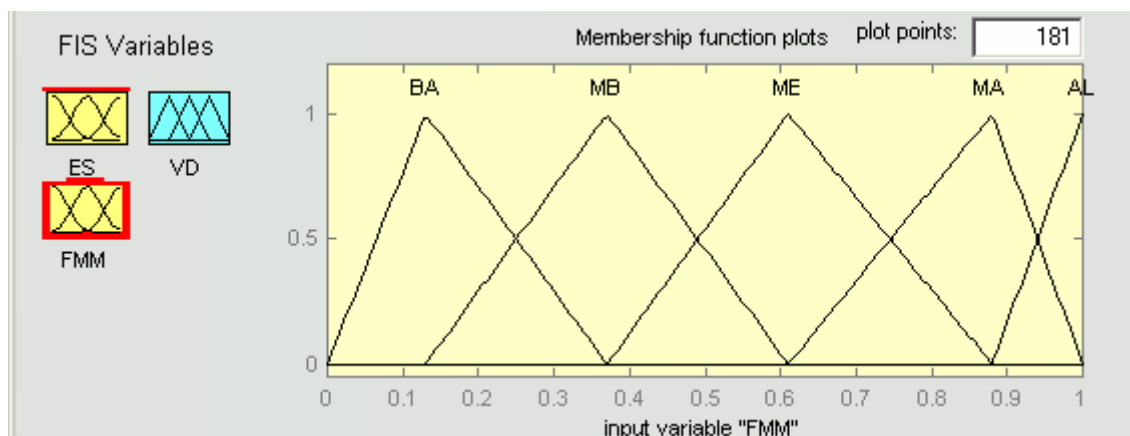
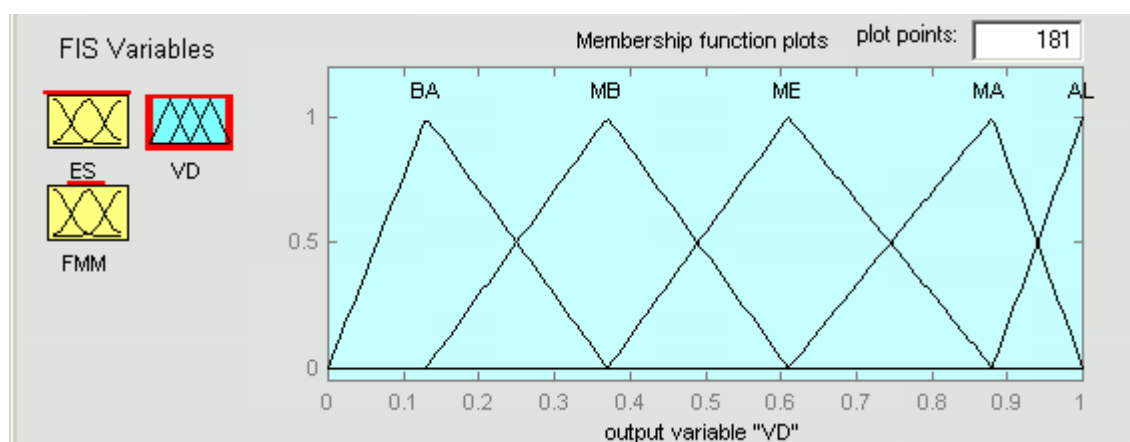
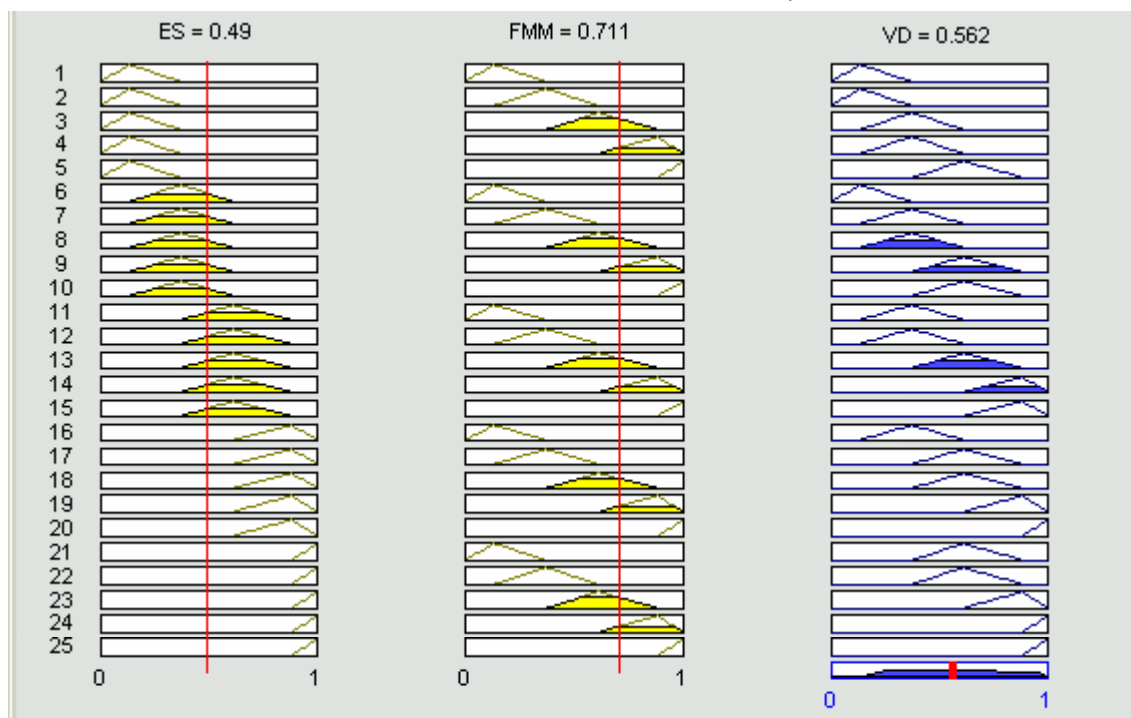


FIGURA 7.31 – CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘VD’ (MatLab).

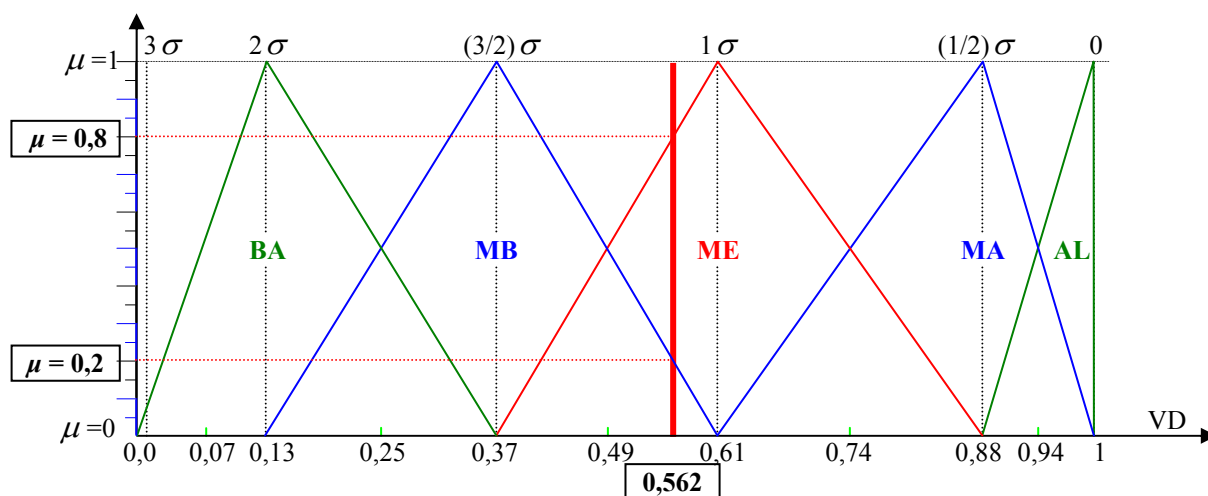


A Figura 7.32 apresenta o resultado da operação Fuzzy, de intersecção dos conjuntos referentes à variável Escala (ES) e ao Indicador de Fatores que Modificam o Meio (FMM), obtendo-se o resultado para Velocidade de Desatualização (VD) igual a 0,562.

FIGURA 7.32 – RESULTADO DA INTERSEÇÃO: ES = 0,49 E FMM = 0,645, E O DEFUZZIFICADOR ‘VD = 0,562’



O resultado do defuzzificador, 0,562, para o Indicador Velocidade de Desatualização (VD), interpretado analogamente ao que foi descrito no item 7.4.2.11 para o Indicador IT é a seguinte: a VD é classificada como MÉDIA, devido ao valor de pertencimento, $\mu = 0,8$, ser maior para a classe MÉDIA do que o valor de pertencimento, $\mu = 0,2$, para a classe MÉDIA BAIXA, conforme mostra a Figura 7.33.

FIGURA 7.33 – REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR $VD = 0,562$ 

7.4.7 Indicador de Atualidade Cartográfica – AC

Através do conhecimento da Desatualização Absoluta, da Idade Tecnológica e da Velocidade de Desatualização, determina-se o Indicador referente à Atualidade Cartográfica da base cartográfica (AC) em questão.

O Indicador referente à Atualidade Cartográfica, composto pela interseção das componentes ‘Desatualização Absoluta (DA)’, ‘Idade Tecnológica (IT)’ e ‘Velocidade de Desatualização (VD)’. Estas operações podem ser representadas pela seguinte equação:

$$AC = DA \cap IT \cap VD \quad (7.22)$$

A classificação para o Indicador Atualidade Cartográfica (AC) é definido pelas cinco classes estabelecidas no item 7.1, conforme mostra a Tabela 7.29.

TABELA 7.29– CLASSIFICAÇÃO DA ATUALIDADE CARTOGÁFICA ‘AC’

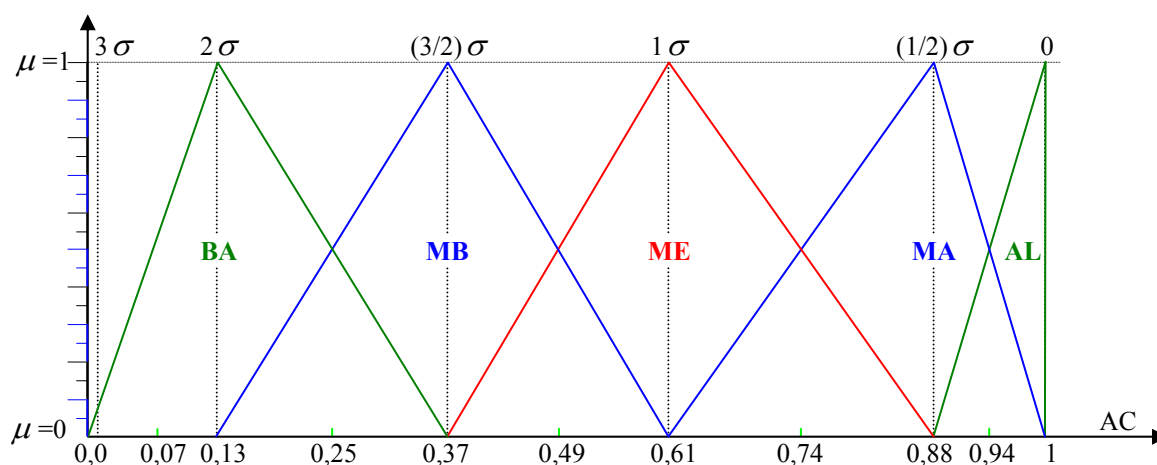
Classes da AC	Intervalos de classificação
Alta – AL	[0,94 – 1]
Média Alta – MA	[0,74 – 0,94]
Média – ME	[0,49 – 0,74]
Média Baixa – MB	[0,25 – 0,49]
Baixa – BA	[0,00 – 0,25]

Segundo a classificação da Tabela 7.29, os conjuntos Fuzzy para o Indicador ‘Atualidade Cartográfica’ (AC) são constituídos da seguinte forma:

- a) $U_{AC} = \{0, 1\}$;
- b) as funções de pertinência adotadas são as triangulares;
- c) as classes são: BAIXA (BA), MÉDIA BAIXA (MB), MÉDIA (ME), MÉDIA ALTA (MA), e ALTA (AL);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘AC’ são definidos da seguinte forma:
 - BA = $\{0,00 \ 0,37\}$: com núcleo em $x = 0,13$;
 - MB = $\{0,13 \ 0,61\}$: com núcleo em $x = 0,37$;
 - ME = $\{0,37 \ 0,88\}$: com núcleo em $x = 0,61$;
 - MA = $\{0,61 \ 1\}$: com núcleo em $x = 0,88$;
 - AL = $\{0,88 \ 1\}$: com núcleo em $x = 1$.

O sistema das funções de pertinência relativas ao Indicador ‘Atualidade Cartográfica’ (AC) está representado da Figura 7.34.

FIGURA 7.34- SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA ATUALIDADE CARTOGRÁFICA ‘AC’



7.4.7.1 Base de Regra para o Indicador Atualidade Cartográfica – AC

O indicador ‘Atualidade Cartográfica – AC’ é composto pela variável: ‘Desatualização Absoluta – DA’, pelo Indicador ‘Idade Tecnológica – IT’ e pelo Indicador ‘Velocidade de Desatualização – VD’. A base de regras baseada no modelo (exp. 5.18) Mandani processa a superposição dos consequentes relativos às classificações dos elementos envolvidos, DA, IT e VD, o que resulta na interseção

destes elementos produzindo assim resultados em AC. O critério para o estabelecimento da base de regras para o Indicador AC é o conhecimento empírico que se tem a respeito do comportamento destes elementos.

A interseção da variável DA e do Indicador IT, na Tabela 7.30, gera a variável intermediária denominada de ‘Atualidade Intermediária (AI)’, para a qual se aplicam cinco classes: MUITO ANTIGA (MN), ANTIGA (AN), MÉDIA (ME), QUASE ATUAL (QA), e ATUAL (AT). Neste procedimento, além do conhecimento empírico envolvido, também, atribui-se maior peso para a variável DA, como exemplo ser este valor mais significativo do que a IT, na análise da velocidade de desatualização. Pois, a desatualização absoluta indica diretamente um valor de desatualização, enquanto que a idade tecnológica refere-se às técnicas utilizadas na confecção do mapeamento, o que não indica necessariamente que sendo baixa a idade tecnológica o documento cartográfico seja desatualizado. O mesmo raciocínio se aplica na combinação das variáveis, AI e VD na Tabela 7.31. Neste caso o peso maior foi atribuído à variável de atualidade intermediária (AI). Pois entre um determinado valor para a atualidade, confrontado com um valor de velocidade de desatualização, considerou-se o fato da desatualização ser mais significativo para quantificar a Atualidade Cartográfica do que a velocidade de desatualização. Pois, se a velocidade de desatualização for alta não significa necessariamente que o documento seja desatualizado. Assim, ao considera uma classe baixa para a atualização intermediária ‘ANTIGA’ confrontada com as classificações de velocidade de desatualização, passou-se a desconsiderar estas ocorrências, devido ao fato de que a atualização já sendo a mais baixa, então, não importa mais, neste caso, qual seja a velocidade de desatualização. Este procedimento deixou a primeira coluna da Tabela 7.31 vazia. Raciocínio análogo foi empregado para outras comparações, Por exemplo, diante de uma classe ANTIGA para a atualidade referente à variável AI e de MÉDIA velocidade de desatualização, considerou-se como resultante a classe BAIXA, pois dado que a atualidade é baixa a velocidade de desatualização é de menor relevância ao propósito de se quantificar a Atualidade Cartográfica.

TABELA 7.30 – INTERSEÇÃO DOS VALORES DE: ‘DA’ E ‘IT’

-	Variável DA					
	-	AL	MA	ME	MB	BA
Indicador IT	ML	1- MN	2- MN	3- AN	4- AN	5- ME
	AN	6- MN	7- MN	8- AN	9- ME	10- ME
	ME	11- MN	12- AN	13- AN	14- ME	15- QA
	QA	16- MN	17- AN	18- ME	19- QA	20- AT
	AT	21- AN	22- AN	23- ME	24- QA	25- AT

Observa-se que os números de 1 a 25 na Tabela 7.30 são apenas auxiliares para a montagem das combinações da Tabela 7.32 (primeira coluna). A partir da variável intermediária (AI) faz-se a interseção desta com o Indicador de Velocidade de Desatualização conforme Tabela 7.31.

TABELA 7.31 – INTERSEÇÃO DOS VALORES DE: ‘AI’ E ‘VD’

-	Variável AI					
	-	MN	AN	ME	QA	AT
Indicador VD	AL	-	BA	MB	ME	MA
	MA	-	BA	MB	ME	MA
	ME	-	BA	ME	ME	MA
	MB	-	MB	ME	MA	AL
	BA	-	MB	ME	MA	AL

Finalmente, da Tabela 7.32, mostra a base de regras referente à determinação do Indicador Atualidade Cartográfica (AC).

TABELA 7.32 – BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR ‘AC’

continua									
No.	Se	IT	e	DA	a AI é:	e	VD	então	AC
1	Se	ML	e	AL	MN	e	AL MA ME MB BA	então	- - - - -
2		ML		MA	MN		AL MA ME MB BA		- - - - -
3		ML		ME	AN		AL MA ME MB BA		BA BA BA MB MB
4		ML		MB	AN		AL MA ME MB BA		BA BA BA MB MB

									conclusão
No.	Se	IT	e	DA	a Al é:	e	VD	então	AC
15							ME MB BA		ME MA MA
16		QA		AL	MN		AL MA ME MB BA		- - - - -
17		QA		MA	AN		AL MA ME MB BA		BA BA BA MB MB
18		QA		ME	ME		AL MA ME MB BA		MB MB ME ME ME
19		QA		MB	QA		AL MA ME MB BA		ME ME ME MA MA
20		QA		BA	AT		AL MA ME MB BA		MA MA MA AL AL
21		AT		AL	AN		AL MA ME MB BA		BA BA BA MB MB
22		AT		MA	AN		AL MA ME MB BA		BA BA BA MB MB
23		AT		ME	ME		AL MA ME MB BA		MB MB ME ME ME
24		AT		MB	AT		AL MA ME MB BA		MA MA MA AL AL
25		AT		BA	AT		AL MA ME MB BA		MA MA MA AL AL

7.4.7.2 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador AC

A base cartográfica referenciada no exemplo desta aplicação considera os seguintes valores para os elementos DA, IT e VD que determinam o Indicador Atualidade Cartográfica:

- Supondo-se uma base cartográfica com Desatualização Absoluta (DA) de 25,2% ($DA = 0,252$), e considerando-se os critérios estabelecidos no item 7.5.1, onde o limite máximo da 'DA' é 0,36 ($LM = 0,36$), tem-se o seguinte: o valor 0,36 de LM, é associado a 100% da 'DA' admitida, e daí, 0,252 corresponde a 70%. Assim, o valor que entra no sistema de conjuntos Fuzzy para a 'DA' é 0,70;
- o valor encontrado para a IT desta base cartográfica foi: $IT = 0,725$;
- o valor encontrado para a VD desta base cartográfica foi: $VD = 0,562$.

Na determinação da Atualidade Cartográfica (AC), o software MatLab, processa os sistemas de pertinência, ou os conjuntos Fuzzy dos elementos DA (Fig. 7.5), IT (Fig. 7.9) e VD (Fig. 7.28), e do Indicador AC (Fig. 7.34), conforme encontram-se representados nas Figuras 7.35, 7.36, 7.37 e 7.38, respectivamente:

FIGURA 7.35 – CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL 'DA' (MATLAB).

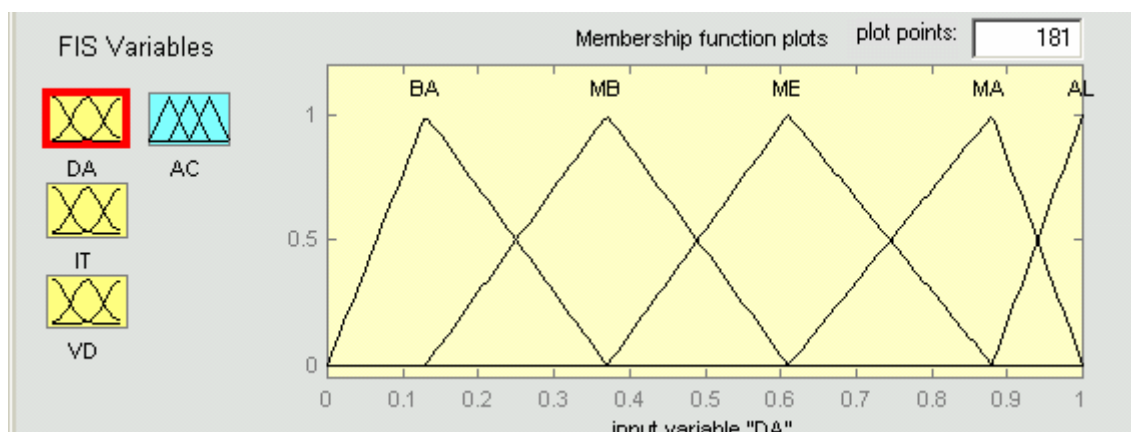


FIGURA 7.36 – CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘IT’ (MATLAB).

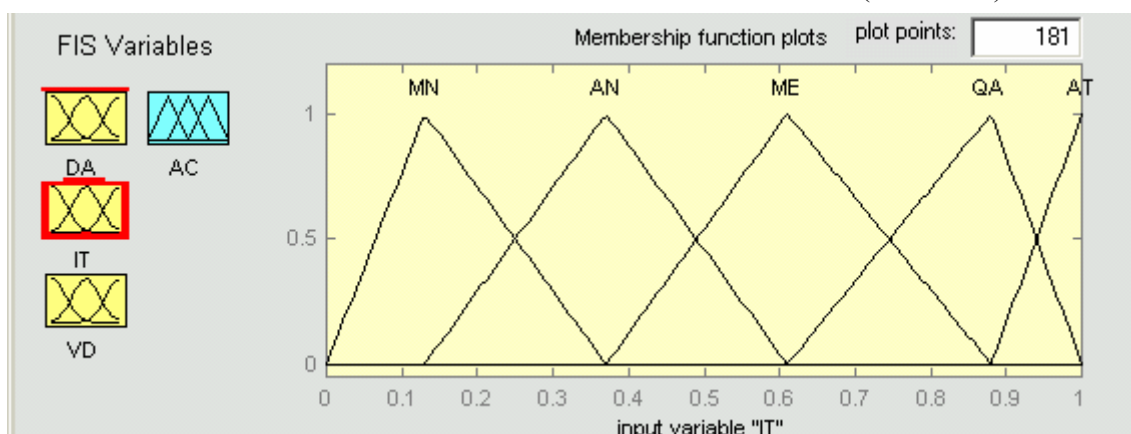


FIGURA 7.37 – CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL ‘VD’ (MATLAB).

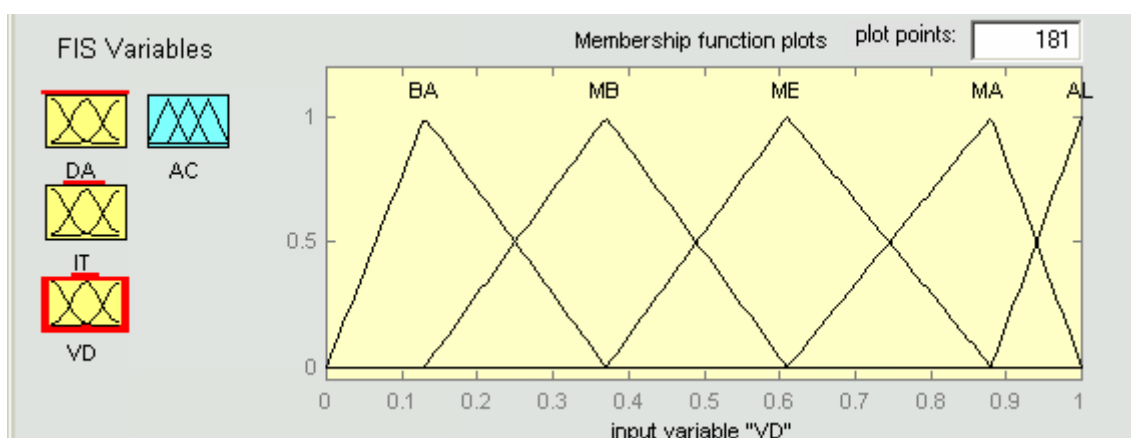
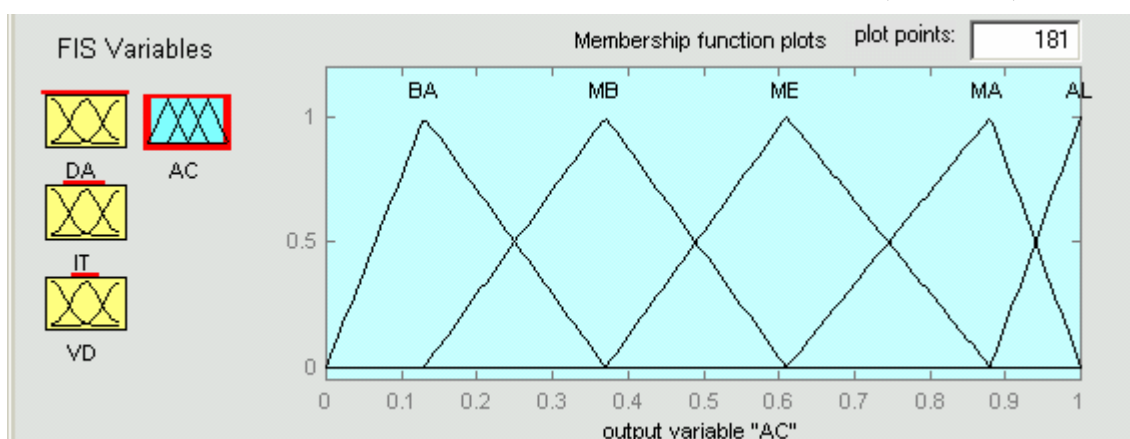


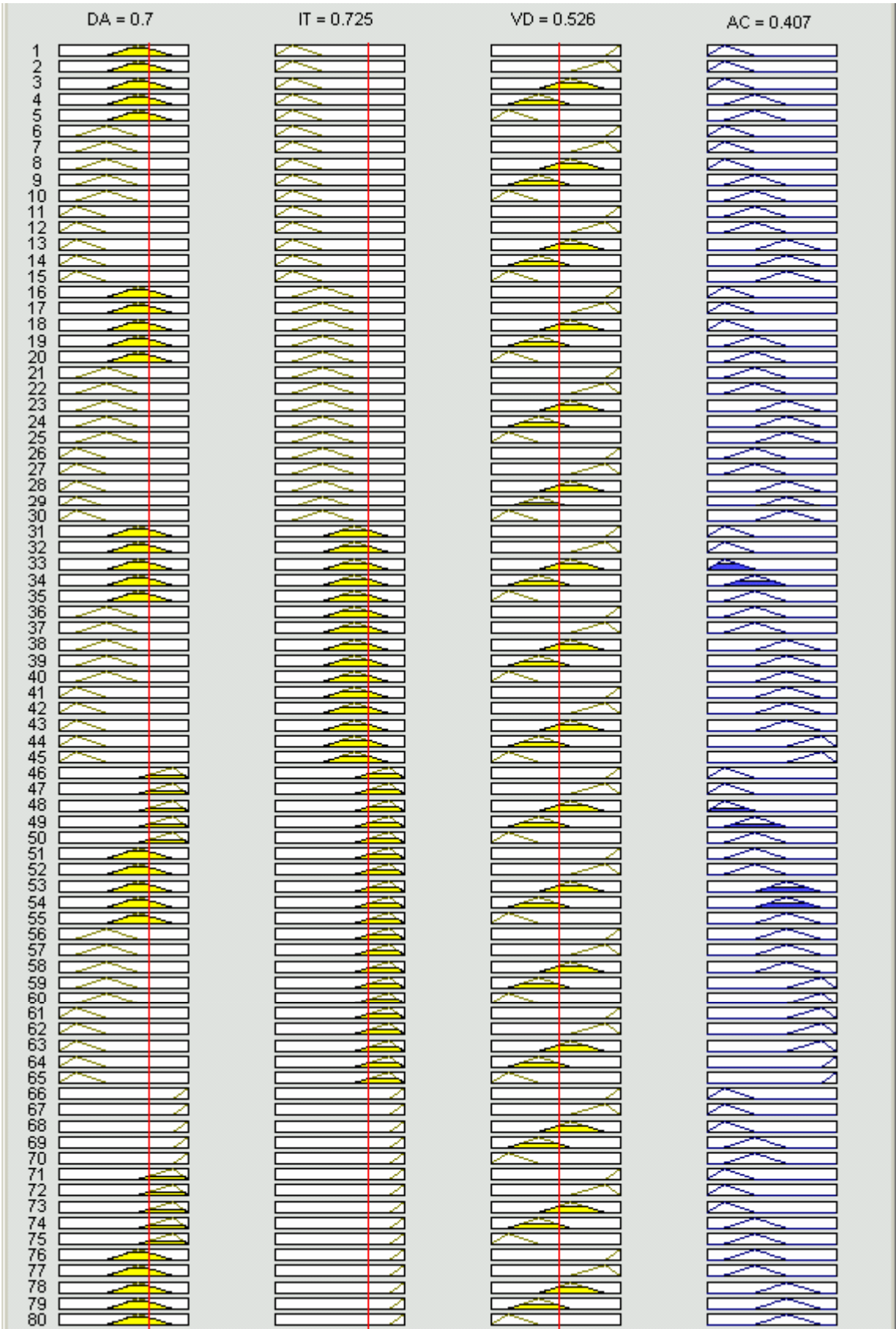
FIGURA 7.38 – CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘AC’ (MATLAB).

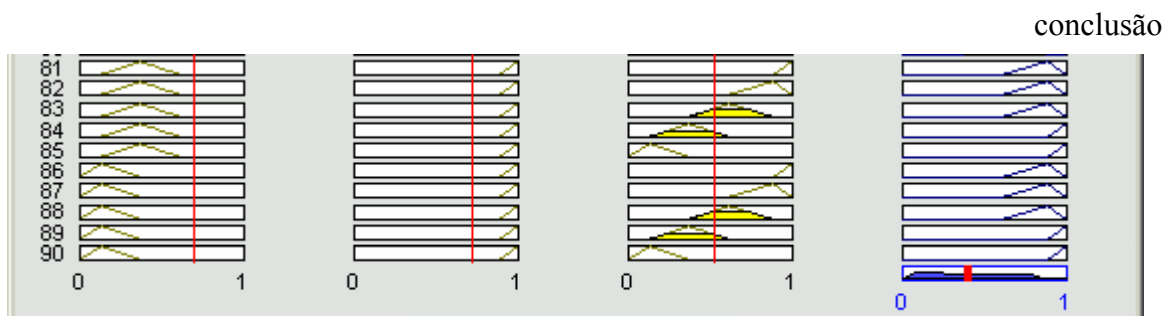


A Figura 7.39 apresenta o resultado da operação Fuzzy, de intersecção dos conjuntos referentes à variável Desatualização Absoluta (DA), e aos Indicadores Idade Tecnológica (IT) e Velocidade de Desatualização (VD), obtendo-se um resultado para o Indicador Atualidade Cartográfica (AC) igual a 0,407.

FIGURA 7.39 – RESULTADO DA INTERSEÇÃO: DA=0,7; IT=0,725; VD=0,526, E O DEFUZZIFICADOR ‘AC = 0,407’ (MATLAB)

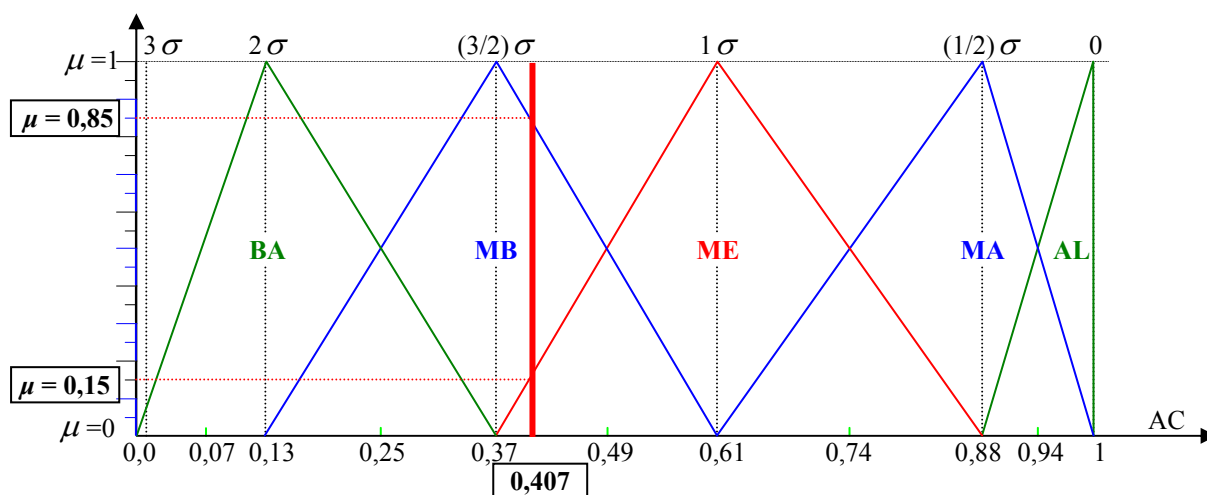
continua





Portanto, de forma análoga aos casos anteriores, o resultado do defuzzificador, 0,407 para a Atualidade Cartográfica é interpretado como sendo MÉDIA BAIXA. Pois, a linha vertical passante pelo ponto definido pelo defuzzificador, 0,407, intercepta os conjuntos: MÉDIA, cujo valor de pertinência é $\mu = 0,15$; e o conjunto MÉDIA BAIXA com valor de pertencimento é $\mu = 0,85$. Assim, constata-se que a classificação encontrada para a Atualidade Cartográfica (AC) é MÉDIA BAIXA. Este resultado encontra-se representado na Figura 7.40.

FIGURA 7.40 – REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR ‘AC = 0,407’



7.5 INDICADOR DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA – GC

Diante das considerações apresentadas pelas bibliografias (Cap.2) entende-se que a generalização cartográfica é principalmente função da escala, e do propósito de uso do mapa. Com base nestes aspectos é que se estabelecem indicadores quantitativos visando a avaliação da generalização cartográfica. Segundo o propósito do uso

determina-se a classificação dos níveis de informação (NI) em duas classes: os principais, e os secundários. O critério adotado para a classificação da generalização cartográfica na determinação dos seus Indicadores é o valor quantitativo das feições representadas em cada nível. Na redução de escala entre um contexto e outro, quer seja entre documentos ou entre terreno e documento cartográfico, a quantidade de informações a ser representada seguem os mesmos critérios de classificação possibilitando assim a quantificação da generalização cartográfica, ou seja, a redução quantitativa de feições representadas. As feições planimétricas e altimétricas do mapeamento são quantificadas com parâmetros diferentes. Portanto, se estabelece um Indicador para as feições planimétricas e outro para as feições altimétricas, os quais geram o indicador principal da Generalização Cartográfica. Em seguida, o Indicador final, da Qualidade de Mapeamento, é determinado através dos Indicadores principais de Atualidade e Generalização Cartográfica, da forma como se segue:

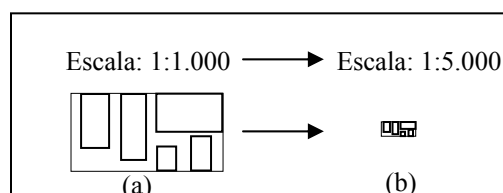
- Indicador final: Qualidade de Mapeamento (QM):
 - Indicador principal: Atualidade Cartográfica (AC);
 - Indicador principal: Generalização Cartográfica (GC):
 - Indicador intermediário: Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P);
 - Indicador intermediário: Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A).

A Generalização Cartográfica é aqui definida pela relação entre a quantidade de feições representadas nos documentos cartográficos considerados na generalização, ou seja, o documento generalizado, em escala menor, e o documento do qual se originou o documento generalizado. A mesma relação pode ser aplicada entre o documento cartográfico derivado da restituição fotogramétrica, em escala menor, e o terreno mapeado do qual se originaram os dados fotogramétricos, embora, neste caso, a aplicabilidade seja menor. Assim, a Generalização Cartográfica é definida pela relação entre a quantidade de elementos de uma dada feição cartográfica, representados no documento derivado da generalização, ou da restituição fotogramétrica, e a quantidade de elementos, desta mesma feição cartográfica, no documento de origem, ou no terreno, conforme o caso considerado.

7.5.1 Generalização Cartográfica Planimétrica – GC-P

A generalização cartográfica planimétrica considera a generalização efetuada nas feições planimétricas. A necessidade de generalização ocorre da impossibilidade de se representar todas as feições existentes em uma determinada escala, em documentos de escalas menores. E isso não implica necessariamente em degradação da qualidade de mapeamento. Porém, a degradação da qualidade pode ocorrer caso a quantidade das feições representadas for muito diferente daquela considerada adequada a cada caso. É neste aspecto que o Indicador de Generalização Cartográfica contribui na avaliação da qualidade de mapeamento. Considere-se que uma área de 20 m por 10 m, no terreno, representada nas escalas 1:1.000 e 1:5.000, ficam respectivamente com 20 mm por 10 mm, e com 4mm por 2 mm. A Figura 7.41, (a) e (b) representam respectivamente cinco elementos da planimetria distintos dentro da área de 20m x 10m representados na escala 1:1.000, e as mesmas feições planimétricas representadas na escala 1:5.000, nesta, observa-se que já não se pode distinguir os 5 elementos internos à área, os quais na escala 1:1.000 são facilmente percebidos.

FIGURA 7.41 – REDUÇÃO PLANIMÉTRICA DA ESCALA 1:1.000 PARA A ESCALA 1:5.000.



Portanto, embora a generalização planimétrica adote critérios diferentes em cada caso, requisitando grande habilidade da mente humana nos processos de tomada de decisões em como representar as feições cartográficas, padrões quantitativos sempre são convenientes nos processos decisórios. Então, buscando padronizar o processo, uma possibilidade é utilizar a relação de escalas para se estabelecer os critérios de generalização cartográfica. Por exemplo, na generalização de um documento cartográfico em escala 1:5.000, tendo sido originado de um documento em escala 1:1.000, há um fator de redução de escalas igual a 0,2 o qual é obtidos da

relação entre a escala 1:1.000 e a escala 1:5.000 . Partindo-se deste raciocínio, algumas convenções são estabelecidas a seguir para o desenvolvimento do processo:

- a) **E_o** – denominador da escala origem;
- b) **E_d** – denominador da escala derivada (destino);
- c) **X_o** – quantidade de elementos, de uma determinada feição, representada na escala origem;
- d) **X_d** – quantidade de elementos, de uma determinada feição, representada na escala de destino (do documento generalizado);
- e) **Fr = E_o/E_d** (7.23)

fator de redução de escala, dado pela relação entre os denominadores das escalas, do documento de origem e derivado ou generalizado;

- f) **Fr_r = X_d/X_o** (7.24)

fator de redução dos elementos de feição cartográfica, dado pela relação entre a quantidade de elementos representados no documento derivado e a quantidade destes, no documento de origem.

Com isto, para se obter a quantidade de elementos a ser representada no documento generalizado, efetua-se o produto entre a quantidade de elementos representada no documento de origem e o fator de redução de escalas. Esta operação determina um número que equivale à mesma densidade de elementos representados no documento original. Assim, tem-se que:

$$X_d = X_o * Fr \quad (7.25)$$

Portanto, considerando-se as escalas, de origem 1:2000, e de destino 1:5000, tem-se pela equação (7.23) que o fator de redução de escalas (Fr) é igual a 0,4. E supondo que o número de elementos (X_o), de uma feição cartográfica, existente no documento original seja 30, então, pela equação (7.25) determina-se o número de elementos desta feição no documento generalizado, o qual corresponde à mesma densidade desta feição no documento original. Portanto, o número correspondente de elementos da feição no documento generalizado (X_d) é igual a doze. Caso o documento generalizado, ao invés de apresentar doze elementos representados da

feição planimétrica analisada, apresentar um número superior a doze, entende-se que houve uma sub generalização relativamente ao valor que corresponde à mesma densidade de elementos representados no documento original. Da mesma forma, se o documento generalizado apresentar um número de elementos, da feição analisada, inferior a doze, entende-se que houve uma super generalização. Assim, se estabelece um critério comparativo para se quantificar a generalização cartográfica. Com isto, torna-se ainda necessário estabelecer um limite superior e um limite inferior aos possíveis números (X_d) de elementos da feição a ser representada. Considerando que no exemplo acima descrito onde o número determinado de elementos a ser representado (X_d) no documento generalizado é doze, observa-se que a metade deste número, seis, portanto, já corresponde ao número determinado de X_d para uma generalização da escala 1:1000 (duas vezes maior que 1:2000) para a escala 1:5.000, ou seja, fixando-se a escala destino (E_d) tem-se que: para uma escala do documento original (E_o) $1/x$, Fr é igual a y e X_d é igual a z ; e para uma escala do documento original (E_o) duas vezes maior ($1/(x/2)$), Fr é igual a $y/2$ e X_d é igual a $z/2$; e para uma escala do documento original (E_o) duas vezes menor ($1/(2x)$), Fr é igual a $2y$ e X_d é igual a $2z$. Partindo-se desta observação, de que a variação múltipla de E_o corresponde à mesma variação múltipla de Fr e de X_d , se estabelecem como limites padrões para a generalização cartográfica o dobro do fator de redução ($2Fr$) para o limite superior, correspondendo à sub generalização, e a metade do fator de redução ($1/2Fr$) para o limite inferior, correspondendo à super generalização. Para os casos em que o dobro do fator de redução de escalas ($2Fr$) for maior que 1, então o fator de redução Fr assumirá o valor 1. Porém, sendo Fr igual a 1, não haverá generalização, pois, pela equação 7.25, X_d será igual a X_o , o que determina o máximo de elementos a serem representados no processo de generalização. Com isto, ficam estabelecidas as seguintes considerações:

- a) $[(1/2)Fr \text{ à } 2Fr]$: intervalo de classificação da Generalização Cartográfica Planimétrica;
- b) $X_d = X_o * Fr$: quantidade média, determinada como padrão, de

elementos a ser representada no documento generalizado, tal que se mantém, relativamente, a mesma densidade de elementos da feição representada no documento cartográfico original;

- c) $X_d = X_o * 2Fr$: quantidade determinada como padrão máximo de elementos da feição a ser representada no documento cartográfico generalizado. Para os caso em que $2Fr$ resultar um valor maior que 1, então assume-se o valor 1 para Fr ($Fr=1$);
- d) $X_d = X_o * (1/2)Fr$: quantidade determinada como padrão mínimo de elementos da feição a ser representada no documento cartográfico generalizado;
- e) Se $X_d < 1$, a representação não poderá ser feita com a preservação das dimensões reais do elemento da feição, então se houver necessidade daquela representação, esta, deverá ser feita por meio de símbolo;
- f) se X_d for número fracionário, então, a quantidade de elementos da feição a ser representada será igual ao primeiro inteiro seguinte. Exemplo: se $X_d = 3,4$, então, o próximo inteiro é 4 ($X_d = 4$).

Na Tabela 7.33, são determinadas as quantidades de elementos a serem representadas (X_d), segundo os padrões adotados com base no fator de redução entre as escalas consideradas (Fr). Ou seja, são representadas as quantidades X_d , tanto para a relação estabelecida pelo fator de redução (Fr) definida como padrão (médio), como também para os limites, superior e inferior, impostos por $2Fr$ e $(1/2)Fr$ respectivamente.

TABELA 7.33 – NÚMERO DE ELEMENTOS A SEREM REPRESENTADOS PELA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE ACORDO COM O FATOR DE REDUÇÃO DE ESCALA

E_o	E_d	Fr	Se $X_o = 30$ $X_d = Fr * X_o$ (Médio)	Sub-gener. $X_d = 2Fr * X_o$ (Máximo)	Super-gener. $X_d = (1/2)Fr * X_o$ (Mínimo)
1:2.000	1:3.000	0,67	20	30*	10
	1:5.000	0,4	12	24	6
	1:10.000	0,2	6	12	3
	1:15.000	0,13	4	8	2
	1:20.000	0,1	3	6	2

*Neste caso, $Fr = 0,67$, portanto $2Fr > 1$, então assume-se $Fr = 1$

É oportuno observar que em casos de haver grande afastamento entre os elementos ou unidades de feição, pode ocorrer situações em que no processo de generalização cartográfica seja possível a representação de uma quantidade de elementos de feição maior do que a estabelecida pelo limite máximo, dado por $X_d = X_o * 2Fr$, ou até mesmo de se representar a totalidade delas. Assim, observa-se que tanto a metodologia aqui apresentada como várias outras, apenas serão úteis nos casos em que se fizerem necessárias ou convenientes aos objetivos e propósitos da aplicação. Com isto, conclui-se que o processo de generalização não deve ocorrer de modo totalmente automatizado, pois, a intervenção humana ainda é necessária.

Tendo-se definido o intervalo $[(1/2)Fr - 2Fr]$ para o conjunto universo de classificação da Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P), determinam-se os intervalos de classe. Sendo o valor padrão de 'Fr' o valor de referencia, tal que valores acima ou abaixo deste caracteriza-se, respectivamente, uma sub generalização ou uma super generalização, assume-se, então, que o valor de 'Fr' designa-se à classe MÉDIA do intervalo considerado. Esta classe MÉDIA não se encontra em um ponto central do intervalo considerado $[(1/2)Fr \text{ à } 2Fr]$. Antes, o intervalo $[(1/2)Fr - Fr]$ é menor do que o intervalo $[Fr - 2Fr]$. Assim, divide-se ao meio cada uma das partes obtendo-se mais duas classes de cada lado da classe MÉDIA, totalizando cinco intervalos de classe para o Indicador de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P), conforme Tabela 7.34.

TABELA 7.34 – CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PLANIMÉTRICA (GC-P)

Classes da GC-P	Intervalos de classificação
Muito Grande – MG	MG: $[< (5/8)Fr]$
Grande – GR	GR: $[(5/8)Fr - (7/8)Fr]$
Média – ME	ME: $[(7/8)Fr - (5/4)Fr]$
Pequena – PE	PE: $[(5/4)Fr - (7/4)Fr]$
Muito Pequena – MP	MP: $[> (7/4)Fr]$

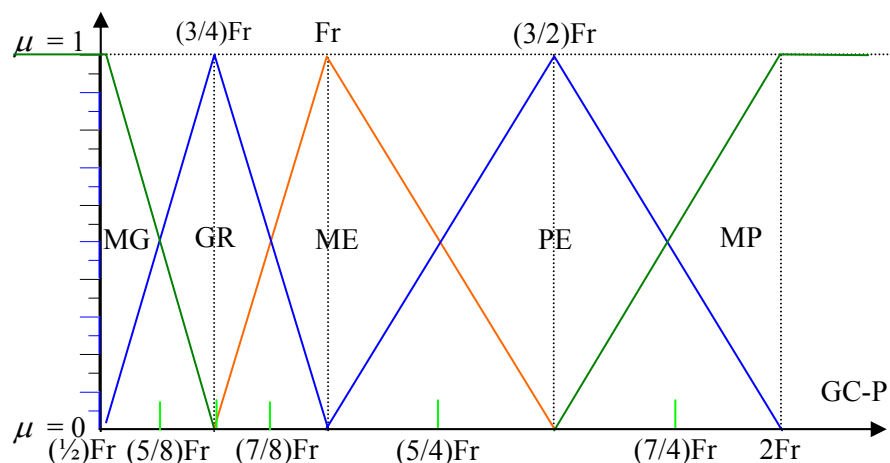
Segundo a classificação apresentada na Tabela 7.34, os conjuntos Fuzzy para a Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P) são construídos da seguinte forma:

- a) $U_{GR-P} = \{(1/2)Fr, 2Fr\}$; sendo que os intervalos são definidos em função do fator de redução de escalas Fr;

- b) as funções de pertinência adotadas são triangulares e triangulares abertas nos extremos devido à possibilidade de ocorrer valores além do limite considerado;
- c) as classes são: MUITO GRANDE (MG), GRANDE (GR), MÉDIA (ME), PEQUENA (PE), MUITO PEQUENA (MP);
- d) os conjuntos Fuzzy de ‘GC-P’ são definidos da seguinte forma:
 - a. MG: $\{< (3/4)Fr\}$: com núcleo em $x = (1/2)Fr$;
 - b. GR: $\{(1/2)Fr, Fr\}$: com núcleo em $x = (3/4)Fr$;
 - c. ME: $\{(3/4)Fr, (3/2)Fr\}$: com núcleo em $x = Fr$;
 - d. PE: $\{Fr, 2Fr\}$: com núcleo em $x = (3/2)Fr$;
 - e. MP: $\{> (3/2)Fr\}$: com núcleo em $x = 2Fr$.

O sistema das funções de pertinência relativo à variável ‘Generalização Cartográfica Planimétrica’ (GC-P) está representado da Figura 7.42.

FIGURA 7.42 - SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PLANIMÉTRICA ‘GC-P’



Cabe considerar que cada Nível de Informação (NI) pode ter um fator de redução (Fr) diferente, definindo-se diferentes classes para a Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P). Essa diferença pode ser procedente dos objetivos do usuário ou características da região e, portanto, necessita ser considerada nesta classificação. Então, para se obter um único valor para a GC-P, efetua-se a média

ponderada entre os valores de classificação dos principais NI considerados na avaliação, conforme se segue:

- a) PNI_i : o peso dos principais NI planimétricos considerados;
- b) $CGCP_i$: a classificação da Generalização Cartográfica planimétrica (GC-P) de cada NI;
- c) $MGCP$: a média ponderada da classificação da Generalização Cartográfica planimétrica (GC-P);

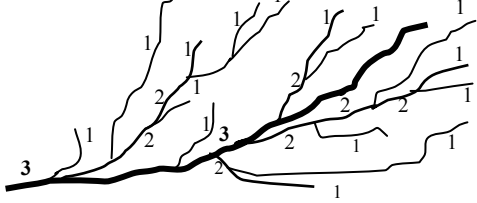
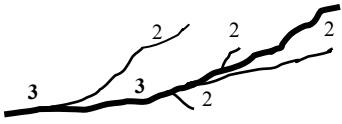
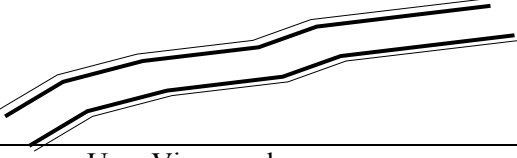
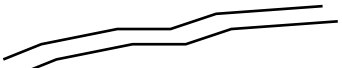
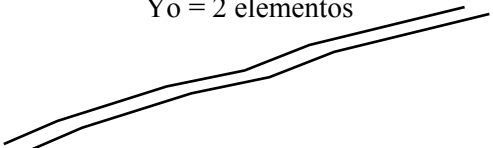
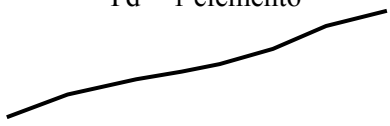
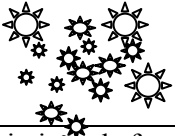
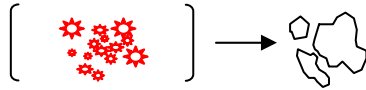


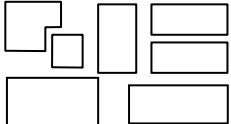
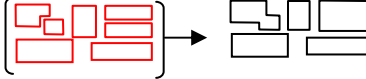
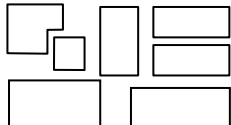

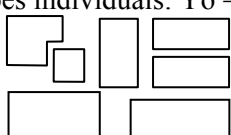
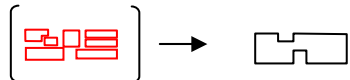
$$\text{tem-se: } MGCP = \sum (PNI_i * CGCP_i) / \sum PNI_i \quad (7.26)$$

7.5.2 Generalização do Elemento Gráfico

Freqüentemente também ocorre generalização nos elementos gráficos utilizados para representar as feições cartográficas. Isto é, não apenas na quantidade de elementos, mas, também, no próprio elemento. Por exemplo, as vias representadas em escalas maiores podem ser representadas por suas duas margens (duas linhas), por exemplo, e quando generalizada, passam a ser representadas por apenas uma linha. Porém, este procedimento não omite a representação da feição, e por este motivo, não influi na qualidade do mapeamento quanto a completeza da informação, e, portanto, não será considerada no modelo proposto. Cabe apenas mencionar algumas questões que mostram a possibilidade de se utilizar os mesmos critérios aqui desenvolvidos. A Tabela 7.35 mostra alguns exemplos de representação de feições em diferentes escalas. O fator de redução de escala pode ser utilizado para classificar quantitativamente a generalização ocorrida nos elementos gráficos da seguinte forma: fazendo-se a relação entre a quantidade de elementos gráficos que compõem uma feição no documento generalizado, denominado de Y_d , e a quantidade de elementos gráficos que compõem essa mesma feição no documento de origem, denominada de Y_o . Assim, tem-se que o fator de redução de elementos gráficos ($Fr(e)$) é:

$$Fr(e) = Y_d/Y_o. \quad (7.27)$$

TABELA 7.35 – GENERALIZAÇÃO DO ELEMENTO GRÁFICO

Feição	Feição completa (documento origem)	Feição generalizada (documento derivado)	Fr(e) = Yd/Yo
*Bacia Hidrográfica	Rio principal + secundários + terciário: Yo = 16 elementos: 	Rio principal + secundários: Yd = 5 elementos: 	$Fr(e) = 5/16 = 0,31$
Vias	Estrada + acostamento: Yo = 4 elementos: 	Estrada (sem acostamento): Yd = 2 elementos: 	$Fr(e) = 2/4 = 0,5$
	Uma Via com duas margens: Yo = 2 elementos 	Uma Via com um traço: Yd = 1 elemento 	$Fr(e) = 1/2 = 0,5$
Arvores	Arvores individuais: Yo = 16 elementos 	Conjunto de arvores: Yd = 3 elementos 	$Fr(e) = 3/16 = 0,19$
Cabine telefone	Restituição da forma real: Yo = 1 elemento 	Representação simbólica: Yd = 1 elemento 	$Fr(e) = \sim 0$ (Símbolo)
Edificações Individuais	Edificações individuais: Yo = 7 elementos 	Edificações Parcialmente Conjugadas: Yd = 5 elementos 	$Fr(e) = 5/7 = 0,71$
	Edificações individuais: Yo = 7 elementos 	Edificações Parcialmente Conjugadas: Yd = 2 elementos 	$Fr(e) = 2/7 = 0,28$
	Edificações individuais: Yo = 7 elementos 	Edificações Conjugadas: Yd = 1 elemento 	$Fr(e) = 1/7 = 0,14$

*Bacia hidrográfica – Sugere-se a utilização do critério de Strahler para a generalização: São consideradas de primeira ordem as linhas de água iniciais, que não tenham afluentes; quando duas linhas de água de primeira ordem se unem, é formada uma de segunda ordem; a junção de duas de segunda ordem dá origem à uma de terceira ordem, e assim, sucessivamente. Assim, dois cursos de água de ordem n dão lugar a um rio de ordem $n + 1$. Quando duas linhas de ordens diferentes se unem, mantém-se a ordem maior. A ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação na bacia. A função atribui uma ordem numérica a segmentos da matriz que representa a rede de drenagem. (UNL, 2002).

Da mesma forma como foi classificado o Fr (fator de redução de escala) no item anterior, poderá ser também classificado o fator de redução de elementos gráficos Fr(e). Para o caso onde a representação da feição se dá por meio de símbolo, não preservando o tamanho nem a forma da feição real, atribui-se o índice máximo de generalização, ou seja, o valor que tende a zero no intervalo considerado de $(1/2)Fr$ a $2Fr$, denotando a máxima generalização. A Tabela 7.35 apresenta alguns exemplos destas considerações.

7.5.3 Generalização Cartográfica Altimétrica – GC-A

O Indicador referente à Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A) considera a generalização das feições altimétricas relativas às curvas de nível. As feições altimétricas pontuais não serão consideradas neste Indicador, pois, para efeito de generalização, quando for o caso, pode-se considerar os mesmos critérios adotados para o Indicador de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-A).

Em função da equidistância gráfica a qual, segundo UNL (2002) e INETI (2005), é freqüentemente utilizada nos valores 0,4 e 0,5, adotam-se estes valores como padrão e determinam-se as equidistâncias das curvas de nível através da relação:

$$e = Eq/Esc \quad (7.28)$$

Onde:

e = equidistância gráfica entre curvas de nível;

Eq = equidistância das curvas de nível;

Esc = denominador da escala de representação gráfica.

Em função da equidistância gráfica (e) das curvas de nível (equação 7.28)

estabelece-se a classificação para a Generalização Cartográfica Altimetria – GC-A. A esta se estabelecem cinco classes: MUITO PEQUENA (MP), PEQUENA (PE), MÉDIA (ME), GRANDE (GR) e MUITO GRANDE (MG), que inicialmente devem variar num intervalo ente 0 e 1. Porém, como os valores de intervalo são definidos em função do valor da eqüidistância gráfica (e), o extremo inferior (zero) deve ser substituído pelo primeiro valor significativo acima de zero, para que a eqüidistância ‘e’ não assuma o valor zero e torne a equação (7.28) nula. Com isso, o limite inferior é estabelecido com o valor da eqüidistância gráfica (e) igual a 0,1, e o limite superior, com o valor da eqüidistância gráfica (e) igual a 1. Com a eqüidistância gráfica padrão, no intervalo [0,4 à 0,5], defini-se a classe MÉDIA, e então, para os valores da classe MUITO GRANDE se estabelece a eqüidistância gráfica igual a 1 e para os valores da classe MUITO PEQUENA, se estabelece a eqüidistância gráfica igual a 0,1. Para as classes intermediárias PEQUENA e GRANDE, atribuem-se os valores intermediários 0,25 e 0,75 respectivamente. A Tabela 7.36 relaciona os valores para a eqüidistância das curvas de nível (E) em função dos valores da eqüidistância gráfica (e) para as classes extremas (MG e MP) e média (ME) da Generalização Cartográfica Altimétrica, definida para algumas escalas.

TABELA 7.36 – EQÜIDISTÂNCIA DAS CNs SEGUNDO A ESCALA DE REPRESENTAÇÃO

Eqüidistância das Curvas de Nível (Eq = e*Esc)					
ESCALA	Classe MG	Classe MÉDIA		Classe MP	Usual Eq
	‘Eq’ para e = 1	‘Eq’ para e = 0,5	‘Eq’ para e = 0,4	‘Eq’ para e = 0,1	
1:500	0,5 m	0,25 m	0,2 m	0,05 m	0,2 m
1:1.000	1 m	0,5 m	0,4m	0,1 m	0,5 m
1:2.000	2 m	1 m	0,8 m	0,2 m	1 m
1:5.000	5 m	2,5 m	2 m	0,5 m	2 m
1:10.000	10 m	5 m	4 m	1 m	5 m
1:15.000	15 m	7,5 m	6 m	1,5 m	5 m
1:20.000	20 m	10 m	8 m	2 m	10 m
1:25.000	25 m	12,5 m	10 m	2,5 m	10 m
1:50.000	50 m	25 m	20 m	5 m	20 m
1:100.000	100 m	50 m	40 m	10 m	40 m
1:250.000	250 m	125 m	100 m	25 m	100 m
1:500.000	500 m	250 m	200 m	50 m	200 m
1:1.000.000	1000m	500 m	400 m	100 m	400 m

A Tabela 7.37 apresenta os intervalos de classes para Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A).

TABELA 7.37 – CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ALTIMÉTRICA (GC-A)

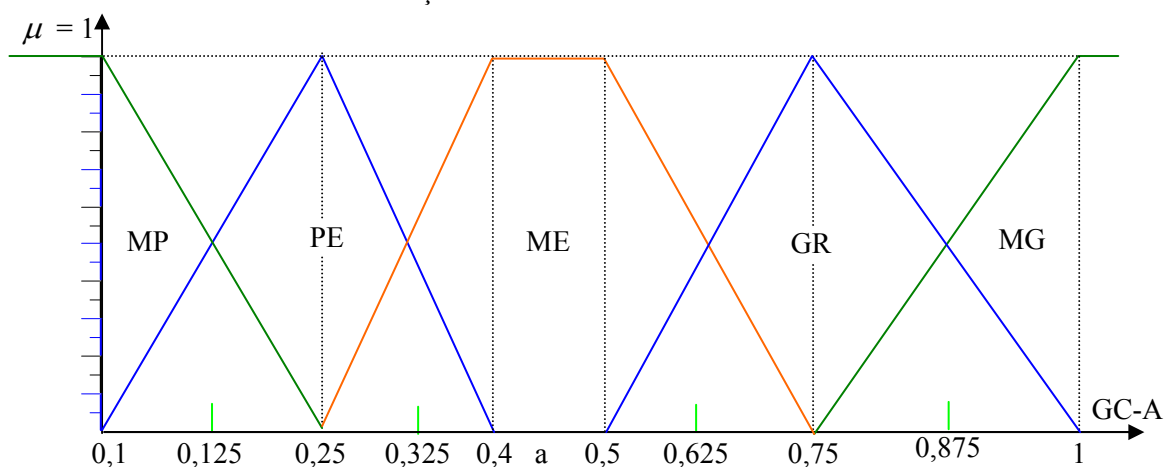
Classes da GC-A	Intervalos de classificação
Muito Grande – MG	MG: $[e > 0,875]$
Grande – GR	GR: $[0,625 < e < 0,875]$
Média – ME	ME: $[0,325 < e < 0,625]$
Pequena – PE	PE: $[0,125 < e < 0,325]$
Muito Pequena – MP	MP: $[e < 0,125]$

Segundo os intervalos de classe definidos na Tabela 7.37, os conjuntos Fuzzy para a Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A) são construídos de forma similar aos da Generalização Cartográfica Planimétrica da seguinte forma:

- a) $U_{GR-A} = \{0,1 \text{ e menores, } 1 \text{ e maiores}\}$; sendo que os intervalos estão em função da Equidistância Gráfica (e), considerando o intervalo de variação entre 'e' = 0,1 e 'e' = 1;
- b) as funções de pertinência adotadas são trapezoidal para o conjunto central por apresentar o intervalo de valores de 0,4 à 0,5; triangulares para as classes intermediárias; e triangulares abertas para os extremos, por admitirem valores além dos limites estabelecidos;
- c) as classes são: MUITO GRANDE (MG), GRANDE (GR), MÉDIA (ME), PEQUENA (PE) e MUITO PEQUENA (MP);
- d) os conjuntos Fuzzy de 'GC-A' são definidos da seguinte forma:
 - MP: $\{e < 0,25\}$, com núcleo em $x = 0,1$;
 - PE: $\{0,1 < e < 0,4\}$, com núcleo em $x = 0,25$;
 - ME: $\{0,25 < e < 0,75\}$, com núcleo no intervalo de $x = 0,4$ e $x = 0,5$;
 - GR: $\{0,5 < e < 1\}$, com núcleo em $x = 0,75$;
 - MG: $\{e > 0,75\}$: com núcleo em $x = 1$.

O sistema das funções de pertinência relativo à variável 'Generalização Cartográfica Altimétrica' (GC-A) está representado da Figura 7.43.

FIGURA 7.43 - SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ALTIMÉTRICA 'GC-A'



7.5.4 Indicador da Generalização Cartográfica – GC

Para a classificação do Indicador de Generalização Cartográfica são estabelecidas as cinco classes, já definidas no item 7.1. Assim, adota-se o intervalo genérico de zero (0) a um (1), porém, neste caso, as extremidades do conjunto universo da Generalização Cartográfica - U_{GC} , são abertas para contemplar valores maiores que 1 e menores que 0. Então, a classificação da Generalização Cartográfica fica conforme Tabela 7.38.

TABELA 7.38 – CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA – GC

Classes da GC	Intervalos de classificação
Muito Pequena – MP	MP: [0,00 – 0,25]
Pequena – PE	PE: [0,25 – 0,49]
Média – ME	ME: [0,49 – 0,74]
Grande – GR	GR: [0,74 – 0,94]
Muito Grande – MG	MG: [0,94 – 1]

Segundo a classificação apresentada na Tabela 7.38, os conjuntos Fuzzy para a Generalização Cartográfica da Base cartográfica (GC) são construídos da seguinte forma:

- $U_{GC} = \{0, 1\}$;
- as funções de pertinência adotadas são triangulares, e triangulares abertas nos extremos, por admitirem valores de generalização além dos limites

estabelecidos;

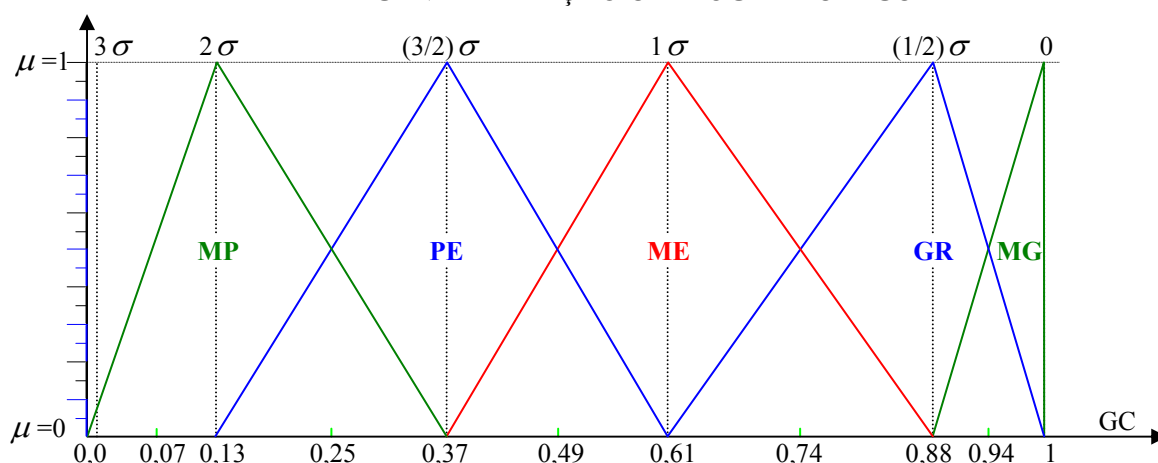
c) as classes são: MUITO PEQUENA (MP), PEQUENA (PE), MÉDIA (ME), GRANDE (GR), MUITO GRANDE (MG);

d) os conjuntos Fuzzy de ‘GC’ são definidos da seguinte forma:

- MP: $\{< 0,37\}$: com núcleo em $x = 0,13$;
- PE: $\{0,13, 0,61\}$: com núcleo em $x = 0,37$;
- ME: $\{0,37, 0,88\}$: com núcleo em $x = 0,61$;
- GR: $\{0,61, 1,0\}$: com núcleo em $x = 0,88$;
- MG: $\{> 0,88\}$: com núcleo em $x = 1,0$.

O sistema das funções de pertinência relativo à variável ‘Generalização Cartográfica’ (GC) está representado da Figura 7.44.

FIGURA 7.44 - SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ‘GC’



7.5.5 Exemplo na determinação dos valores de GC-P e GC-A

Considerando que um usuário cujas atividades destacam como principais NI os seguintes: Edificação, Lote, Quadra, Curvas de Nível e Arruamento, nesta ordem de importância, em escala 1:2.000, generalizadas para a escala 1:10.000, pode-se detectar uma situação conforme Tabela 7.39, onde:

- a) Eq.o = Eqüidistância das CN no documento origem;
- b) Eq.d = eqüidistância das CN no documento generalizado (derivado), dada

- pelo produto da eqüidistância gráfica e a escala correspondente ($e \cdot Ed$);
- c) $Eq.d_r$ = eqüidistância (real) das curvas de nível no documento generalizado;
- d) e_r = eqüidistância gráfica definida pelo produto entre a eqüidistância (presente) das curvas de nível no documento generalizado e a escala deste documento ($e_r = Eq_r \cdot Ed$).

TABELA 7.39 – EXEMPLO: GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE CINCO NÍVEIS DE INFORMAÇÃO DA ESCALA 1:2.000 PARA A ESCALA 1:10.000.

Peso dos NI	NI (Feições)	Unidade de Mapeament o da Feição	Xo Unidades Existentes na Eo = 1:2.000	Xd _r = Unidades representadas na Ed _r = 1:10.000	Fr _r = Xd _r /Xo	Classificação de: GC-P (Fr = 0,2) *GC-A (e = 0,5)
5	Edificações	M ²	130.483 m ²	50.296 m ²	Fr _r = 0,3855	MP {> 0,35}
4	Loteamento	Lote	114.173 lotes	15.800 lotes	Fr _r = 0,1384	GR {0,125 – 0,175}
3	Quadras	Quadra	92.004 quadras	18.200 quadras	Fr _r = 0,1978	ME {0,175 – 0,25}
*2	Curvas de Nível (CN)	Cada CN	Eo = 1 m	Ed = 2,5 m	$e_r = Ed/Esc.d$ = 0,25	PO {0,125-0,325}
1	Arruamento	Trecho: 1km	80.800 km	16.580 km	Fr _r = 0,2052	ME {0,175 – 0,25}

Para se obter um único valor para a GC-P, faz-se a média ponderada dos valores de classificação obtidos em cada NI (Tab. 7.39), de acordo com a equação (7.26), conforme se segue abaixo:

$$MGCP = [(5 \cdot 0,3855) + (4 \cdot 0,1384) + (3 \cdot 0,1978) + (1 \cdot 0,2052)] / (5 + 4 + 3 + 1)$$

$$MGCP = 0,252.$$

A Generalização Cartográfica Altimétrica, por referir-se a apenas um item, obtém-se diretamente da Tabela 7.39 (GC-A = 0,25 = e_r (*)).

7.5.6 Base de regras para o Indicador Generalização Cartográfica – GC

O Indicador referente à Generalização Cartográfica (GC), é determinado pelo Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) através da interseção dos conjuntos de Generalização Planimétrica e Altimétrica. A base de regras se dá pela sobreposição dos conseqüentes de cada regra, de acordo com o modelo de Mandani (exp. 5.18). Assim, conforme o exemplo acima, tem-se que: GC-P = 0,2523, e GC-A = 0,25. Estes

são os valores de entrada no SIF para a determinação da Generalização Cartográfica (GC).

Na combinação das variáveis de GC-P e GC-A, para o estabelecimento da base de regras de GC, atribui-se um peso maior para as classes referentes à GC-P, por ser a planimetria a componente que envolve o maior número de NI importantes para o usuário, considerado neste exemplo. Enquanto que a altimetria considera apenas um NI (curvas de nível). Assim, a Tabela 7.40 apresenta a combinação das variáveis referentes à Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P) e a Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A).

TABELA 7.40- INTERSEÇÃO DOS INDICADORES ‘GC-P’ E ‘GC-A’

		GC-A				
	-	MG	GR	ME	PE	MP
GC-P	MG	MG	MG	GR	ME	PE
	GR	GR	GR	ME	PE	PE
	ME	ME	ME	ME	PE	MP
	PE	ME	ME	PE	PE	MP
	MP	PE	PE	MP	MP	MP

Finalmente, da Tabela 7.40 se obtém as classes resultantes de GC para se estabelecer a sua base de regras, conforme se apresenta na Tabela 7.41.

TABELA 7.41 – BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ‘GC’

continua					
Se	GC-P	e	GC-A	então	GC
Se	MG	e	MG	então	MG
Se	MG	e	GR	então	MG
Se	MG	e	ME	então	GR
Se	MG	e	PE	então	ME
Se	MG	e	MP	então	PE
Se	GR	e	MG	então	GR
<u>Se</u>	GR	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	GR
<u>Se</u>	GR	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	GR	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	GR	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	PE	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	MP

					conclusão
<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	MP	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	MP

7.5.7 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do Indicador GC

Processamento da interseção dos conjuntos Fuzzy referentes à GC-P e GC-A, considerando a generalização da escala 1:2.000 para a 1:10.000, conforme desenvolvimento do item 7.5.5, tem-se os seguintes valores:

GC-P = 0,252;

GC-A = 0,25;

Determinar GC para esta base cartográfica.

A solução por meio do software MatLab processa os dados dos sistemas de pertinência dos elementos envolvidos GC-P, GC-A e GC, para se obter o valor do Indicador de Generalização Cartográfica. Segue-se respectivamente a representação destes sistemas através das Figuras 7.45, 7.46 e 7.47.

FIGURA 7.45 - CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL 'GC-P' (MatLab)

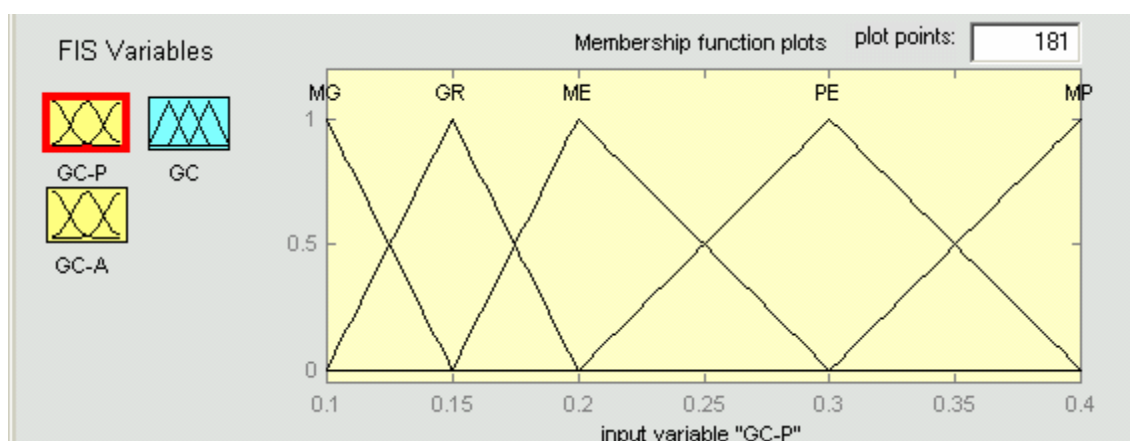


FIGURA 7.46 - CONJUNTOS FUZZY DA VARIÁVEL 'GC-A' (MatLab)

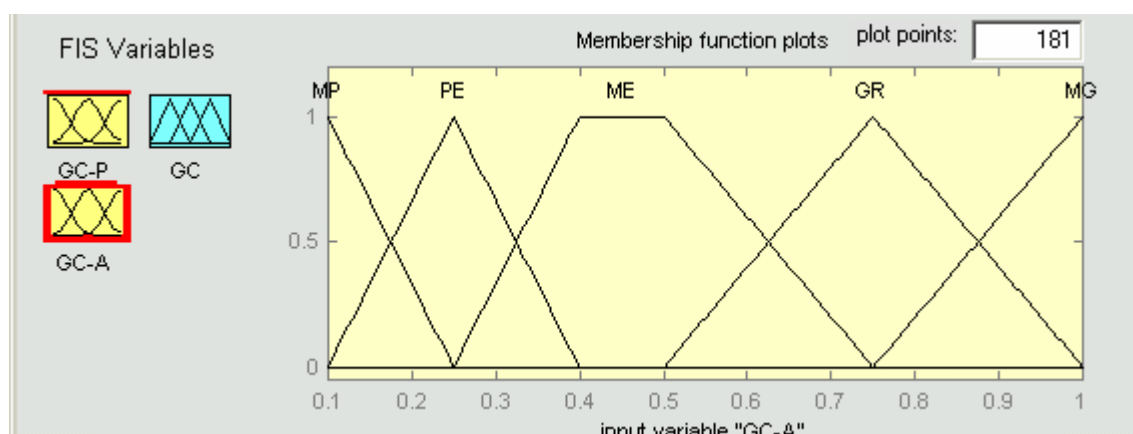
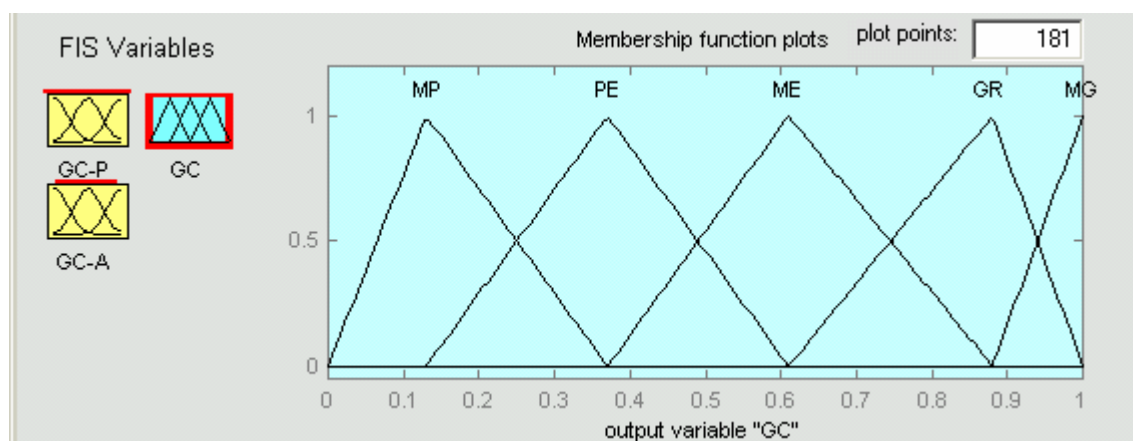
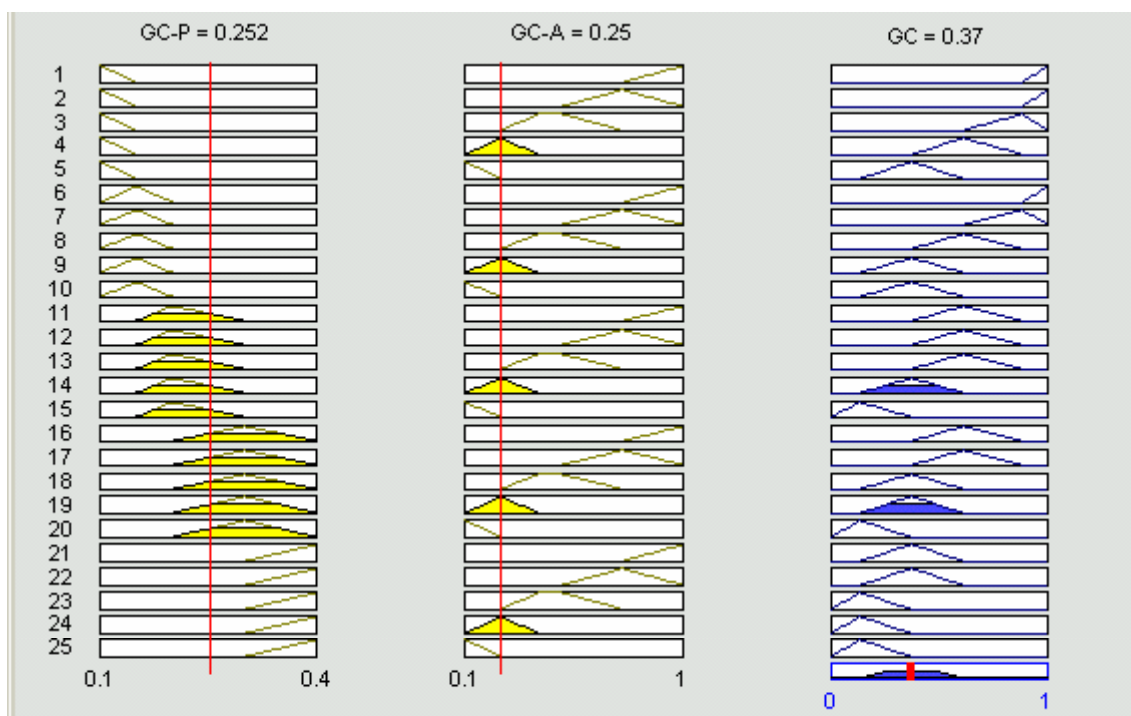


FIGURA 7.47 - CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR 'GC' (MatLab)



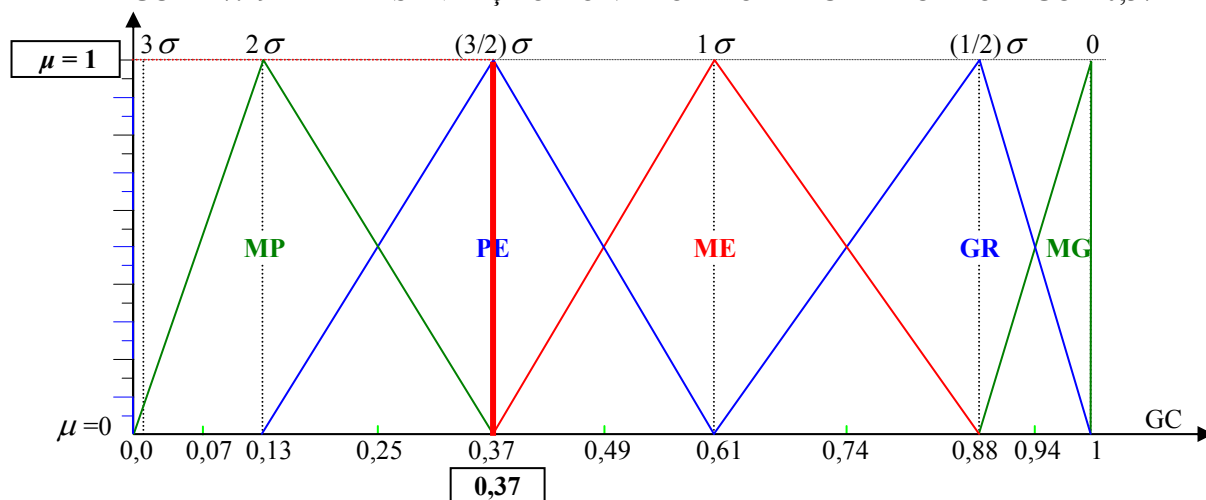
A Figura 7.48 apresenta o resultado da operação Fuzzy, de intersecção dos conjuntos referentes às variáveis relativas à Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P) e a Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A), obtendo um resultado para o Indicador de Generalização Cartográfica, cujo defuzzificador é igual a: 0,37.

FIGURA 7.48 – RESULTADO DA INTERSEÇÃO: GC-P = 0,252 E GC-A = 0,25, E O DEFUZZIFICADOR ‘GC = 0,37’



O resultado do defuzzificador, 0,37, para o Indicador Generalização Cartográfica (GC) indica que a GC é classificada como PEQUENA. Neste caso, o resultado não apresenta grau de pertinência a qualquer outro conjunto, pois o ponto de abscissa 0,37 é coincidente com o núcleo do conjunto PEQUENA, portanto, o grau de pertinência a este conjunto é máximo ($\mu = 1$), conseqüentemente o grau de pertinência aos conjunto adjacentes é nulo ($\mu = 0$). A Figura 7.49 representa este resultado.

FIGURA 7.49 – REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR ‘GC = 0,37’



7.6 INDICADOR DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO - QM

O Indicador de Qualidade de Mapeamento (QM) é composto pelos Indicadores de Atualidade da Base cartográfica (AC), Generalização Cartográfica (GC), Precisão (PR), Acurácia (AC) e Legibilidade (LG). Embora neste trabalho tenham sido desenvolvidos apenas dois dos cinco Indicadores principais propostos no modelo (Fig. 6.2), considera-se que o Indicador QM pode ser determinado pela combinação dos Indicadores que melhor expressem as necessidades do usuário quanto a qualidade de sua Base cartográfica. Ainda que todos os Indicadores apresentados no modelo refiram-se à grandezas relacionadas com a qualidade de mapeamento, nem sempre todos estes aspectos necessitam ser considerados para expressar a qualidade do mapeamento a todos os objetivos de uso. A qualidade de mapeamento está relacionada com o objetivo de cada aplicação. Assim, um valor para a Qualidade de Mapeamento, pode ser obtido através dos Indicadores de Atualidade Cartográfica e Generalização Cartográfica apenas. Através da interseção destes dois Indicadores, AC e GC, pode-se determinar o Indicador de Qualidade do Mapeamento (QM). Esta operação pode ser expressa através da seguinte equação:

$$QM = AC \cap GC \quad (7.29)$$

7.6.1 Classificação do Indicador da Qualidade de Mapeamento – QM

Para a classificação do Indicador de Qualidade de Mapeamento são estabelecidas as cinco classes, de acordo com o que se definiu no item 7.1, adotando-se o intervalo de variação entre zero (0) e um (1). Então, a classificação da QM fica conforme se apresenta na Tabela 7.42.

TABELA 7.42 – CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO ‘QM’

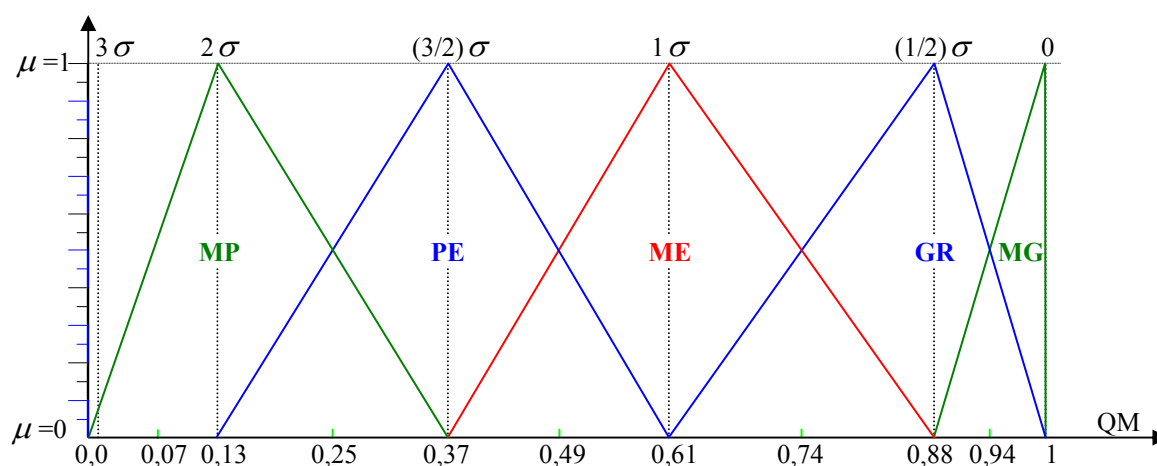
Classes da QM	Intervalos de classificação
Muito Pequena – MP	MP: [0,00 – 0,25]
Pequena – PE	PE: [0,25 – 0,49]
Média – ME	ME: [0,49 – 0,74]
Grande – GR	GR: [0,74 – 0,94]
Muito Grande – MG	MG: [0,94 – 1]

Segundo a classificação apresentada na Tabela 7.42, os conjuntos Fuzzy para a Qualidade de Mapeamento (QM) são construídos da seguinte forma:

- a) $U_{QM} = \{0, 1\}$;
- b) as funções de pertinência adotadas são triangulares;
- c) as classes são: MUITO PEQUENA (MP), PEQUENA (PE), MÉDIA (ME), GRANDE (GR), e MUITO GRANDE (MG);
- d) os conjuntos Fuzzy de 'QM' são definidos da seguinte forma:
 - MP: $\{0,00 \ 0,37\}$: com núcleo em $x = 0,13$;
 - PE: $\{0,13, 0,61\}$: com núcleo em $x = 0,37$;
 - ME: $\{0,37, 0,88\}$: com núcleo em $x = 0,61$;
 - GR: $\{0,61, 1,0\}$: com núcleo em $x = 0,88$;
 - MG: $\{0,88 \ 1,0\}$: com núcleo em $x = 1,0$.

O sistema das funções de pertinência relativo ao Indicador 'Qualidade de Mapeamento' (QM) está representado da Figura 7.50.

FIGURA 7.50 - SISTEMA REPRESENTATIVO DA FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO 'QM'



7.6.2 Base de Regra para o Indicador Qualidade de Mapeamento

O Indicador referente à Qualidade de Mapeamento (QM), é determinado pelo Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) através da interseção dos conjuntos de Atualidade Cartográfica (AC) e de Generalização Cartográfica (GC). Assim, de acordo com o modelo de Mamdani (exp. 5.18) a base de regras para a obtenção dos valores de QM, procede-se a combinação das classes dos Indicadores AC e GC, conforme a Tabela 7.43. Observa-se que na interseção destes dois Indicadores ocorre uma diferença significativa de interpretação das classes dos Indicadores considerados. Na Generalização Cartográfica (GC), a degradação da qualidade pode ocorrer à medida que a classificação se afasta da classe central (ME) para as extremidades (MP ou MG), sendo ainda, que a degradação maior geralmente ocorre à medida que se aproxima da classe MUITO GRANDE, pois, o alto grau de generalização indica haver omissão da informação. Porém, a efetiva degradação da qualidade somente poderá ser avaliada se os objetivos do mapeamento forem considerados. As classes do elemento Generalização Cartográfica indicam, principalmente, a classificação dos quantitativos de feições representadas. Porém, para o Indicador de AC os conjuntos apresentam uma sequência decrescente dos valores que degradam a qualidade da base cartográfica (MP, PE, ME, GR, MG). Estas considerações têm significado fundamental no estabelecimento da base de regras para o Indicador de Qualidade de Mapeamento, o que deve ser feito segundo as necessidades do usuário. Os critérios estabelecidos para a formação da base de regras de QM, além do conhecimento empírico, se considerou que a classe PEQUENA, do Indicador GC, é mais desejável para a qualidade da base cartográfica do que a classe GRANDE deste mesmo Indicador. Assim, a combinação entre a classe PEQUENA da Generalização Cartográfica (GC), com a classe MÉDIA ALTA da Atualidade Cartográfica (AC), por exemplo, resulta a classe GRANDE para QM. E a combinação entre a classe GRANDE de Generalização Cartográfica (GC) e a classe MÉDIA ALTA para a Atualidade Cartográfica (AC) resulta a classe MÉDIA para a Qualidade do Mapeamento (QM). Finalmente, a Tabela 7.44 mostra a base de

regras para o Indicador QM.

TABELA 7.43- INTERSEÇÃO DOS INDICADORES ‘AC’ E ‘GC’

	GC					
	-	MP	PE	ME	GR	MG
AC	AT	GR	MG	MG	ME	ME
	MA	GR	GR	GR	ME	PE
	ME	PE	ME	GR	PE	MP
	MB	MP	PE	ME	PE	MP
	BA	MP	MP	PE	MP	MP

TABELA 7.44 – BASE DE REGRAS PARA O INDICADOR QUALIDADE DE MAPEAMENTO ‘QM’

<u>Se</u>	AC	<u>e</u>	GC	<u>então</u>	QM
<u>Se</u>	AT	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	GR
<u>Se</u>	AT	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	MG
<u>Se</u>	AT	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	MG
<u>Se</u>	AT	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	AT	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	GR
<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	GR
<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	GR
<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	MA	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	GR
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	ME	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	MB	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	MB	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	MB	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	ME
<u>Se</u>	MB	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	MB	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	MP	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	PE	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	ME	<u>então</u>	PE
<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	GR	<u>então</u>	MP
<u>Se</u>	BA	<u>e</u>	MG	<u>então</u>	MP

7.6.3 Processamento das operações Fuzzy para a determinação do indicador QM

A interseção dos conjuntos Fuzzy, referente aos Indicadores AC e GC, conforme Tabela 7.44, se dá através dos valores já determinados anteriormente, como se segue:

- a) a Atualidade Cartográfica: $AC = 0,407$;
- b) A Generalização Cartográfica: $GC = 0,37$;

Determinar a QM para essa base cartográfica.

A solução pelo software MatLab processa os dados referentes aos sistemas de pertinência dos elementos envolvidos no cálculo do Indicador de QM, que são: AC (Fig. 7.34), GC (Fig. 7.44) e o próprio QM (Fig. 7.50). Assim, estes sistemas estão representados respectivamente pelas Figuras 7.51, 7.52 e 7.53.

FIGURA 7.51 – CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘AC’ (MATLAB)

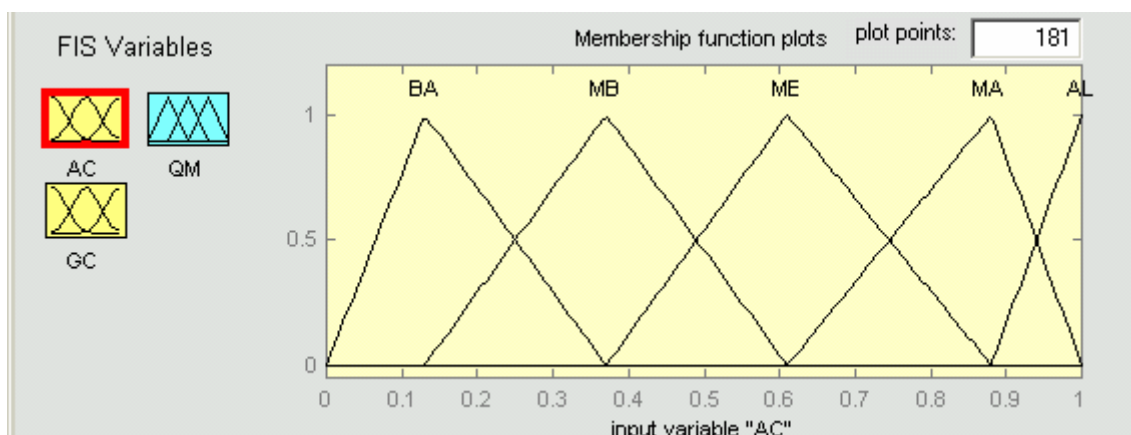


FIGURA 7.52 – CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘GC’ (MATLAB)

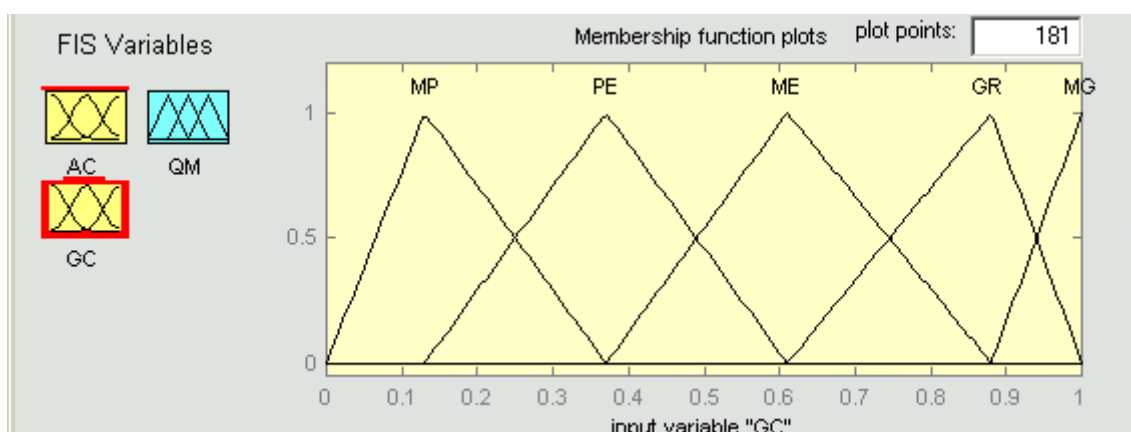
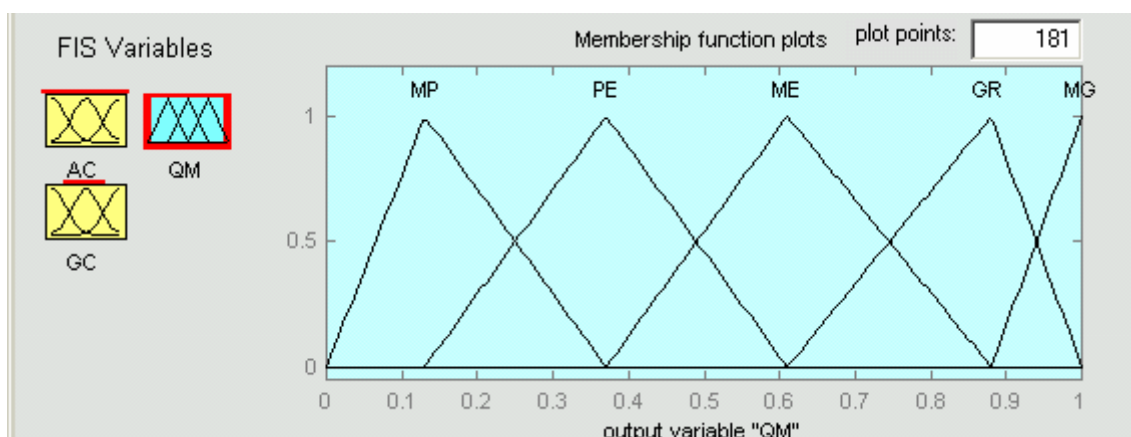
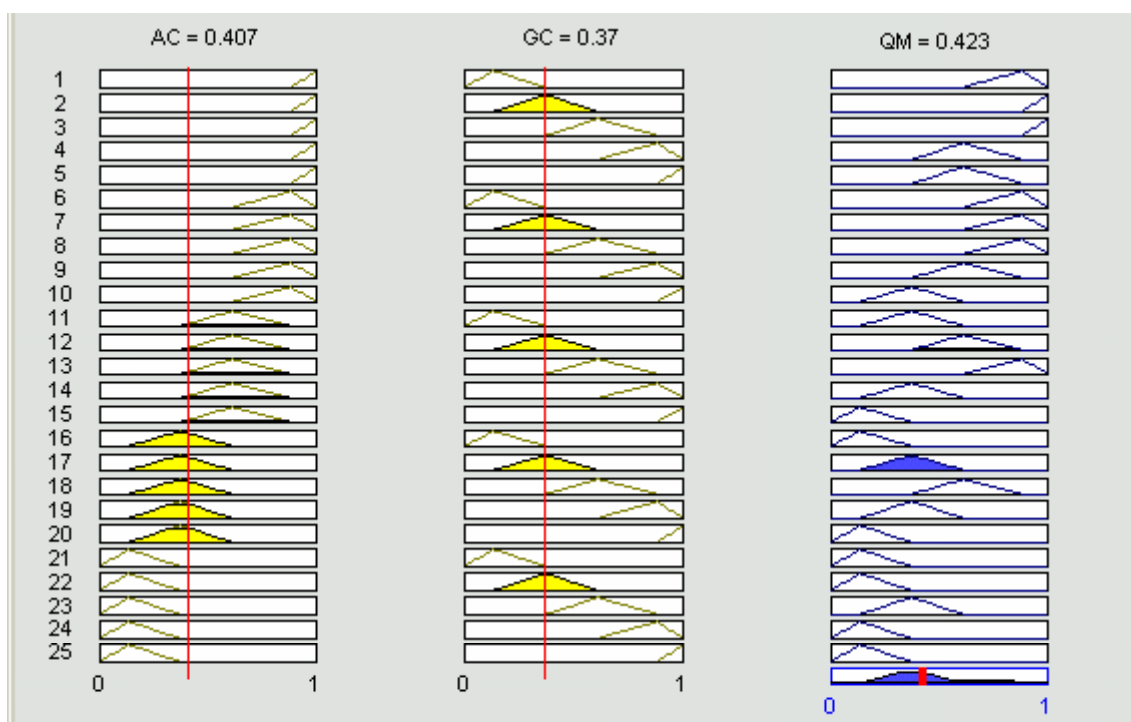


FIGURA 7.53 – CONJUNTOS FUZZY DO INDICADOR ‘QM’ (MATLAB)



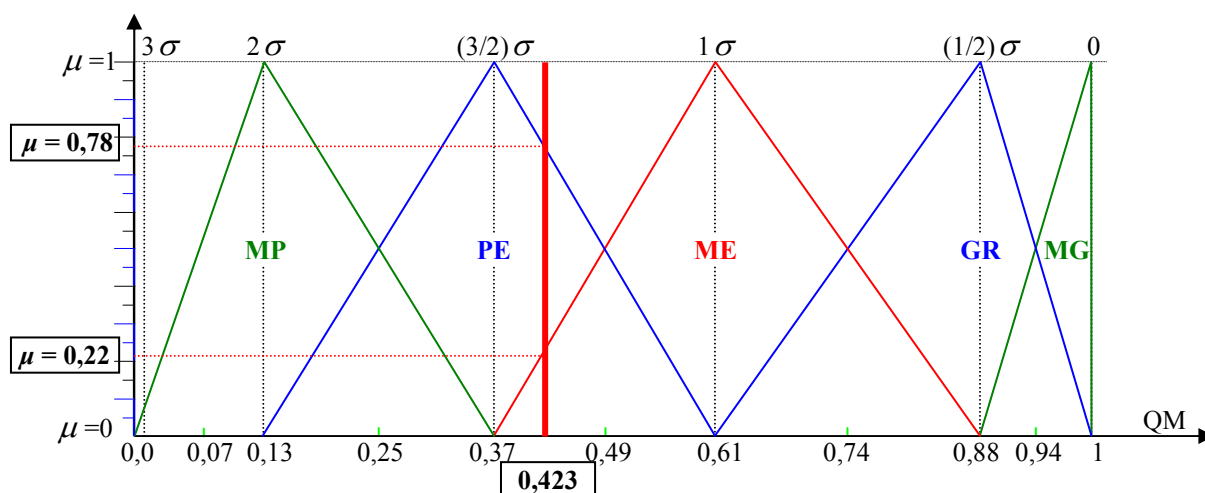
A Figura 7.54 apresenta o resultado da operação Fuzzy, de intersecção dos conjuntos referentes às variáveis relativas à Atualidade Cartográfica (AC) e a Generalização Relativa da Base cartográfica (GC), obtendo um resultado para a Qualidade de Mapeamento, cujo defuzzificador é igual a: 0,423.

FIGURA 7.54 – RESULTADO DA INTERSEÇÃO: AC = 0,407 E GC = 0,37, E O DEFUZZIFICADOR 'QM = 0,423'



O Indicador Qualidade de Mapeamento (QM) classifica-se em PEQUENA a qualidade da base cartográfica analisada, pois o conjunto referente à classe PEQUENA de QM foi interceptado com maior valor de pertinência, $\mu = 0,78$, do que o conjunto adjacente, MÉDIA, cujo valor de pertinência é $\mu = 0,22$. A Figura 7.55 representa este resultado.

FIGURA 7.55- REPRESENTAÇÃO DO VALOR DO DEFUZZIFICADOR 'QM = 0,423'



7.7 COMENTÁRIO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Observa-se que o **Indicador da Idade Tecnológica (IT)** obteve um valor de saída, $x = 0,725$, dentro do conjunto MÉDIA, porém, após o centro deste conjunto, cujo centro está em $x = 0,61$, o que indica uma proximidade com o conjunto QUASE ATUAL. Este resultado procedeu dos seguintes valores:

- Disponibilidade em Meio Digital (DD), com $x = 0,88$ pertencente ao conjunto MÉDIA ALTA, cujo valor central $x = 0,88$, portanto, com grau de pertinência total ao conjunto MÉDIA ALTA;
- Compatibilidade com SGR Atual (CS), com $x = 5,9$ pertencente ao conjunto MUITO GRANDE, cujo valor central é $x = 6$, portanto, com pequena proximidade ao conjunto GRANDE;
- Compatibilidade com o Geóide Global, com $x = 3,4$ pertencente ao conjunto MÉDIO, cujo valor central é $x = 3$, portanto, com grande proximidade ao conjunto GRANDE.

O Indicador **Fatores que Modificam o Meio (FMM)** obteve um valor de saída, $x = 0,711$, dentro do conjunto MÉDIA, cujo centro está em $x = 0,61$, portanto, com proximidade ao conjunto MÉDIA ALTA. Este resultado procedeu dos seguintes valores:

- a) Crescimento Populacional (CP), com $x = 2,11$ pertencente ao conjunto ALTA, cujo centro está em $x = 2,1$, portanto, quase sem nenhuma influência de outra classe;
- b) Projeção do Crescimento Populacional (PCP), com $x = 1,8$ pertencente ao conjunto ALTA, cujo centro está em $x = 2,1$, portanto, com pequena proximidade ao conjunto BAIXA;
- c) Consumo de Energia Elétrica (CEE), com $x = 4,67$ pertencente ao conjunto ALTA, cujo centro está em $x = 4,2$, portanto, com proximidade ao conjunto MUITO ALTA.

O Indicador **Velocidade de Desatualização (VD)** obteve um valor de saída, $x = 0,562$, dentro do conjunto MÉDIA, cujo centro está em $x = 0,61$, portanto, com proximidade ao conjunto MÉDIA BAIXA. Este resultado procedeu dos seguintes valores:

- a) Escala (ES), com $x = 0,49$ pertencente tanto ao conjunto MÉDIA como PEQUENA, pois o valor '0,49' encontra-se exatamente no ponto de cruzamento cujo grau de pertinência é 0,5, tanto para o conjunto ME como para o conjunto PE;
- b) Fatores que Modificam o Meio (FMM), com $x = 0,711$ pertencente ao conjunto MÉDIA, cujo centro está em $x = 0,61$, portanto, com proximidade ao conjunto MÉDIA ALTA;

O Indicador **Atualidade Cartográfica (AC)** obteve um valor de saída, $x = 0,407$, dentro do conjunto MÉDIA BAIXA, cujo centro está em $x = 0,37$, portanto, com pouca proximidade ao conjunto MÉDIA. Este resultado procedeu dos seguintes valores:

- a) Desatualização Absoluta (DA), com $x = 0,70$ pertencente ao conjunto MÉDIA, cujo valor central é $x = 0,61$, portanto, com grande proximidade ao conjunto MÉDIA ALTA;

- b) Idade Tecnológica (IT), com $x = 0,725$ pertencente ao conjunto MÉDIA, cujo valor central é $x = 0,61$, portanto, com grande proximidade ao conjunto QUASE ATUAL;
- c) Velocidade de Desatualização (VD), com $x = 0,562$ pertencente ao conjunto MÉDIA, cujo valor central é $x = 0,61$, portanto, com proximidade ao conjunto MÉDIA BAIXA.

O Indicador **Generalização Cartográfica (GC)** obteve um valor de saída, $x = 0,37$, dentro do conjunto PEQUENA, cujo centro está em $x = 0,37$, portanto, com grau de pertinência máximo para o conjunto PEQUENA. Este resultado procedeu dos seguintes valores:

- a) Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P), com $x = 0,252$ ao conjunto PEQUENA, e quase pertencente também ao conjunto MÉDIA, devido a grande proximidade com o ponto de cruzamento entre os dois conjuntos;
- b) Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A), com $x = 0,25$ pertencente ao conjunto PEQUENA, coincidente com o núcleo deste conjunto ($\mu=1$), portanto, não possui tendência a qualquer outro conjunto.

O Indicador de **Qualidade de Mapeamento (QM)** obteve um valor de saída, $x = 0,423$, pertencente ao conjunto PEQUENA, cujo valor central está em $x = 0,37$, portanto, com proximidade ao conjunto MÉDIA. Este resultado procedeu dos seguintes valores:

- a) Atualidade Cartográfica (AC), com $x = 0,407$ pertencente ao conjunto MÉDIA BAIXA, cujo centro está em $x = 0,37$, portanto, com pouca proximidade com o conjunto MÉDIA;
- b) Generalização Cartográfica (GC), com $x = 0,37$ com grau de pertinência máximo ($\mu=1$) ao conjunto PEQUENA, cujo centro está em $x = 0,37$.

Os resultados obtidos estão representados na Tabela 7.45, onde, relacionam-

se os valores (classe e quantificação) de entrada e de saída utilizados na determinação de cada Indicador.

TABELA 7.45 – RESULTADOS ENCONTRADOS

Valores de Entrada	Indicadores					
	IT	VD	FMM	AC	GC	QM
DA	-	-	-	ME (0,70)	-	-
IT	-	-	-	ME (0,725)	-	-
DD	MA (0,88)	-	-	-	-	-
CS	MG (5,9)	-	-	-	-	-
CGG	ME (3,4)	-	-	-	-	-
VD	-	-	-	ME (0,562)	-	-
ES	-	PE/ME (0,49)	-	-	-	-
FMM	-	ME (0,711)	-	-	-	-
CP	-	-	AL (2,11)	-	-	-
PCP	-	-	AL (1,8)	-	-	-
CEE	-	-	AL (4,67)	-	-	-
AC	-	-	-	-	-	MB (0,407)
GC	-	-	-	-	-	PE (0,37)
GC-P	-	-	-	-	PE (0,252)	-
GC-A	-	-	-	-	PE (0,25)	-
RESULTADOS	ME (0,725)	ME (0,562)	ME (0,711)	MB (0,407)	PE (0,37)	PE (0,423)
+ (>0,615); - (<0,615)	+	+	-	-	+	-

Os valores numéricos (defuzzificador) resultantes do Sistema de Inferência Fuzzy inseridos no intervalo que varia de 0 a 1, permitem a comparação entre grandezas de diferente natureza, e portanto, a interpretação quantitativa das questões referentes à qualidade de mapeamento, conforme se desejou. A interpretação dos resultados obtidos, demonstrados na ultima linha da Tabela 7.45, considerando-se o valor médio das classificações (0,615 é o valor médio do intervalo da classificação MÉDIA [0,49 – 0,74] para a classificação padrão) como referência, segue o seguinte raciocínio: Os Indicadores referentes a ‘Idade Tecnológica (IT)’, a ‘Velocidade de Desatualização (VD)’ e a ‘Generalização Cartográfica (GC)’ alcançaram classificações que estão acima da média, no sentido de contribuírem positivamente para a avaliação da ‘Qualidade de Mapeamento (QM)’, resultando em 0,408 o somatório das respectivas partes excedentes ao valor médio ($(0,725 - 0,615) + (0,615 - 0,526) + (0,711 - 0,615) = 0,408$). Já os Indicadores referentes aos ‘Fatores que Modificam o Meio (FMM)’ e a ‘Atualidade Cartográfica (AC)’, alcançaram classificação abaixo da média, no sentido de contribuírem negativamente para a avaliação da ‘Qualidade de Mapeamento (QM)’, resultando em 0,304 o somatório das respectivas partes

excedentes a valor médio $((0,711 - 0,615) + (0,615 - 0,407) = 0,304)$. Portanto, apesar da soma de três Indicadores com contribuição positiva resultar um valor (0,408) numericamente maior do que a soma dos dois Indicadores com contribuição negativa (0,304), obteve-se o resultado negativo para ‘Qualidade do Mapeamento (QM)’ que se classificou como PEQUENA (PE). Com isto, conclui-se que os valores obtidos aos Indicadores ‘Fatores que Modificam o Meio (FMM)’ e ‘Atualização Cartográfica (AC)’ foram mais significativos no resultado final (QM) do que os valores dos Indicadores ‘Idade Tecnológica (IT)’, ‘Velocidade de Desatualização (VD)’ e ‘Generalização Cartográfica (GC)’, isto, devido às considerações de pesos praticadas nas bases de regras. Assim, observa-se que na aplicação do modelo proposto é necessário pré definir cuidadosamente os diferentes pesos para cada um dos elementos constituintes do modelo visando atender as necessidades do usuário.

Assumindo-se que os valores que contribuem positivamente para a ‘Qualidade de Mapeamento (QM)’, sejam parâmetros de aceitação de uma suposta base cartográfica que esteja sendo avaliada, pode-se, então, dizer, a respeito dos valores aqui encontrados aos Indicadores que: a ‘Idade Tecnológica (IT)’, a ‘Velocidade de Desatualização (VD)’ e a ‘Generalização Cartográfica (GC)’ apresentam-se aceitáveis na avaliação desta base cartográfica; porém, os ‘Fatores que Modificam o Meio (FMM)’ e a ‘Atualidade Cartográfica (AC)’, condenam esta base cartográfica à reprovação, pois, estes valores implicaram em um resultado negativo para a ‘Qualidade de Mapeamento (QM)’. Pode-se, a partir desta análise, verificar que o principal fator negativo nesta avaliação foi a ‘Desatualização Absoluta (DA)’, pois, apesar do Indicador relativo aos ‘Fatores que Modificam o Meio (FMM)’ ter resultado negativamente, este valor foi utilizado no processamento da ‘Velocidade de Desatualização (VD)’ que resultou positivamente. E ainda, analisando-se o fato de que o processamento do Indicador de ‘Atualidade Cartográfica (AC)’ ocorre a partir dos valores de ‘DA’, ‘IT’ e ‘VD’, sendo que ‘IT’ e ‘VD’ resultaram positivamente, logo é a ‘DA’ que foi mais significativa no resultado negativo para a ‘Qualidade de Mapeamento (QM)’.

8 APLICAÇÃO

A aplicação completa, com dados reais, da metodologia desenvolvida no Capítulo 7 requer o acesso a uma base cartográfica de uma região, sendo preferencialmente um município. Os documentos devem ter também, dados de planimetria e altimetria. Desta forma é possível a determinação do Indicador da Qualidade de Mapeamento composto pelos Indicadores de Atualização Cartográfica e Generalização Cartográfica de acordo com o modelo proposto. De posse destes materiais, são necessários o levantamento dos seguintes dados de entrada:

- a) a quantidade percentual da desatualização absoluta dos documentos cartográficos de data mais recente (DA), relativamente à data atual;
- b) a quantidade percentual da disponibilidade dos dados dos mapeamentos considerados, em meio digital (DD);
- c) a identificação do Sistema Geodésico de Referência – SGR utilizado em cada documento cartográfico (CS), e a identificação do SGR em vigência (atual);
- d) a identificação da Rede Vertical da Rede Geodésica Brasileira – RV- RGB utilizada em cada documento cartográfico (CGG), e a identificação do RV – RGB em vigência (atual);
- e) a escala de representação gráfica de cada um dos documentos cartográficos considerados (ES);
- f) o índice mais atual de crescimento populacional da região mapeada (CP);
- g) o índice mais atual da projeção do crescimento populacional da região mapeada (PCP);
- h) o índice mais atual de consumo de energia elétrica da região mapeada (CEE);
- i) o levantamento do fator de redução de escala (Fr) dos documentos utilizados na classificação da generalização cartográfica planimétrica

(GC-P);

- j) o levantamento da equidistância gráfica (e) das curvas de nível representadas no documento cartográfico procedente de generalização para possibilitar a classificação da generalização cartográfica altimétrica (GC-A).

Com os dados relacionados acima se prossegue com as seguintes operações:

- a) a classificação da Desatualização Absoluta (DA) (Fig. 7.5);
- b) a classificação da Disponibilidade em sistemas Digitais (DD) (Fig. 7.6);
- c) a classificação da Compatibilidade do SGR com o atual (CS) (Fig. 7.7);
- d) a classificação da Compatibilidade da Rede Vertical com o Geóide Global (CGG) (Fig. 7.8);
- e) o cálculo do Indicador da Idade Tecnológica (IT) utilizando os valores de DD, CS e CGG (Fig 7.9);
- f) a classificação da Escala (ES) (Fig.7.16);
- g) a classificação dos índices de Crescimento Populacional (CP) e de Projeção do Crescimento Populacional (PCP) (Fig.7.18);
- h) a classificação do índice de Consumo de Energia Elétrica (CEE) (Fig. 7.20);
- i) o cálculo do Indicador de Fatores que Modificam o Meio (FMM) utilizando os valores de CP, PCP e CEE (Fig. 7.21);
- j) o cálculo do Indicador da Velocidade de Desatualização (VD) utilizando os valores de ES e FMM (Fig. 7.28);
- k) o cálculo do Indicador principal relativo à Atualidade Cartográfica (AC) utilizando os valores de DA, IT e VD (Fig. 7.34);
- l) a classificação da Generalização Cartográfica planimétrica (GC-P) (Fig. 7.42);
- m) a classificação da Generalização Cartográfica altimétrica (GC-A) (Fig. 7.43);
- n) o cálculo do Indicador principal referente à Generalização Cartográfica

- (GC) utilizando os valores de GC-P e GC-A (Fig. 7.44);
- o) o cálculo do Indicador final relativo à Qualidade de Mapeamento (QM) utilizando os valores de AC e GC (Fig. 7.50).

8.1 OBTENÇÃO DOS DADOS

Observou-se que na prática, a obtenção de todos os dados exigidos pelo modelo proposto não é facilmente encontrada. Isto revela a situação ainda carente de informações sistematizadas e completas relativamente à cartografia municipal. Na busca por dados reais para o desenvolvimento desta aplicação detectaram-se dificuldades que impediram a obtenção do conjunto completo das informações exigidas pelo modelo. No entanto, observa-se que para se superar tais dificuldades o principal esforço está nas questões de caráter operacional como, por exemplo, a intercomunicação entre departamentos e órgãos governamentais, processos contínuos de atualização dos dados espaciais, e a transferência e manutenção dos dados em sistemas digitais. Destes, considera-se o de maior dificuldade o registro das alterações contínuas ocorridas na região de modo a possibilitar o conhecimento da Desatualização Absoluta na região mapeada. No entanto, esta prática deve ser incentivada e apoiada por garantir o retorno de benefícios significativos aos diversos segmentos da administração municipal.

Para a aplicação do modelo proposto um valor aproximado para a Desatualização Absoluta pode ser obtido através de dados espaciais mais recentes do que a Base cartográfica avaliada, como fotografias aéreas, por exemplo. Quanto a disponibilidade dos dados cartográficos em meio digital, normalmente, não possui qualquer dificuldade para ser levantado, pois se trata simplesmente de um percentual relativo à totalidade das informações disponíveis. Os dados de Compatibilidade do SGR com o atual (CS), Compatibilidade da Rede Vertical com o Geóide Global (CGG), Escala (ES), Generalização Cartográfica planimétrica (GC-P) e Generalização Cartográfica altimétrica (GC-A) são obtidos a partir do próprio produto de

mapeamento. Os dados de Crescimento Populacional (CP), Projeção de Crescimento Populacional (PCP) e Consumo de Energia Elétrica (CEE) são obtidos por consulta a dados que normalmente são públicos (disponíveis pela internet) como os censos realizados pelo IBGE, dados gerais da administração municipal, e companhias de energia elétrica da região.

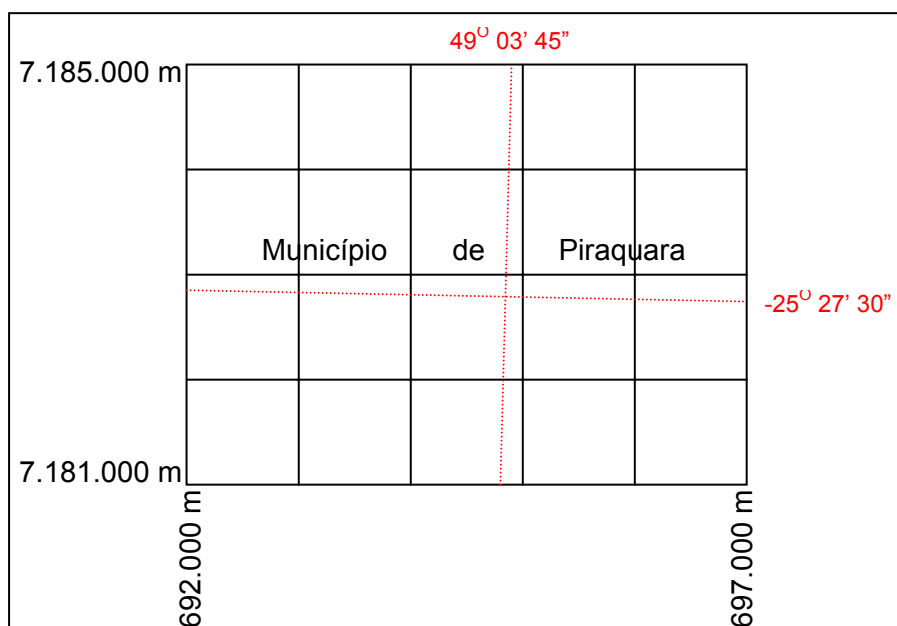
Assim, para exemplificar uma aplicação com dados reais consideraram-se cartas topográficas da Região Metropolitana de Curitiba (PR), disponibilizadas por dois órgãos públicos, a COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, e a SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. As Cartas fornecidas pela COMEC são de 1976, nas escalas 1:10.000 e 1:20.000, cujos referenciais são o Datum de Córrego Alegre (MG) como referencial horizontal, e o Datum marégrafo de Imbituba (SC) como referencial vertical. As cartas fornecidas pela SUDERHSA são do ano 2000, na escala 1:10.000, e referenciadas no elipsóide SAD – 69, com os seguintes Datums: Horizontal, o SAT 9162; e o Vertical definido por interpolação geoidal, tendo sido rastreadas as RRNN: RN2141C, RN2041D, RN2041F, RN2041L, RN2041S, RN2053V, RN2042J, RN2045B, RN2052V, RN2052N e RN2052H. O mapeamento de 2000 é utilizado nesta aplicação somente para se obter dados mais atuais relativamente ao mapeamento de 1976, já que os dados de desatualização absoluta, referente ao mapeamento de 1976, inexistem. Portanto, o mapeamento de 2000, não faz parte da base cartográfica analisada nesta aplicação. A base cartográfica analisada é composta pelas cartas de 1976 nas escalas 1:10.000 e 1:20.000. Destes documentos cartográficos optou-se por analisar a área central do município de Piraquara, por ser comum nos dois mapeamentos, de 1976 e de 2000, e por apresentar modificações significativas entre eles. As cartas utilizadas foram as seguintes:

- a) COMEC – Escala 1:10.000: Folhas 429, 430, 431 e 432;
- b) COMEC – Escala 1:20.000: Folha A-108, localizada na folha SG-22-X-D-I-4 (Escala 1:50.000);
- c) SUDERHSA – Escala 1:10.000: Folhas D14SEC, D14SED, D14SEE e

D14SEF.

A região analisada está entre as coordenadas UTM, 7.181.000 m à 7.185.000m Norte e 692.000 m à 697.000 m Este, conforme mostra a Figura 8.1.

FIGURA 8.1 – COORDENADAS DA ÁREA ÁNALISADA – PARTE CENTRAL DO MUNÍCIO DE PIRAQUARA PR



As Figuras referentes ao mapeamento analisado neste aplicativo citadas nos itens abaixo se apresentam no Anexo 1, da forma como se segue:

- a) Figura 1, referente à carta 429 – escala 1:10.000;
- b) Figura 2, referente à carta 430 – escala 1:10.000;
- c) Figura 3, referente à carta 431 – escala 1:10.000;
- d) Figura 4, referente à carta 432 – escala 1:10.000;
- e) Figura 5, referente às cartas 429, 430, 431 e 432 juntas;

8.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Com base nos dados acima descritos, segue o processamento do modelo proposto para a avaliação da Qualidade de Mapeamento da base cartográfica considerada.

8.2.1 Classificação da Desatualização Absoluta (DA)

Para classificar o mapeamento quanto a Desatualização Absoluta (DA) foram analisados dois Níveis de Informação NI, Arruamento e Quadras nos documentos cartográficos referentes aos anos de 1976 e 2000, lembrando que o mapeamento de 2000 foi utilizado em lugar das informações referentes a desatualização absoluta que inexistem. Desta forma, em lugar das informações referentes á desatualização absoluta (DA) considerou-se as informações obtidas nas cartas de 2000. A defasagem dos NI_s (arruamento e quadras) considerados no mapeamento de 1976 em relação ao mapeamento de 2000 apresenta-se na Tabela 8.1, de onde os dados de arruamento foram obtidos com curvímetro diretamente das cartas.

TABELA 8.1 – DADOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA

Quantidades NI _s	Unidade	Existentes (cartas 2000)	Mapeadas (cartas 1976)	Quantidade Mapeada (76)	Quantidade não Mapeada (76)
Arruamento	km	97,83	64,53	66%	DA _{ar} = 34%
Quadras	quadra	271	57	21%	DA _{qd} = 79%

8.2.1.1 Estabelecimento do LM

Assume-se que o usuário desta aplicação impõe, como valores iniciais aceitáveis para a Desatualização Absoluta (DA) dos principais NI, os valores de 18% para as feições de quadras ($V_{qd} = 0,18$), e 25% para as feições de arruamento ($V_{ar} = 0,25$), que para este caso, correspondem a uma tolerância de até 49 quadras e de até 24,46 km, respectivamente. Com isto tem-se a determinação do limite máximo de desatualização absoluta (LM) conforme Tabela 8.2.

TABELA 8.2 – DETERMINAÇÃO DO VALOR DE LM_p

NI de Feições	p _i	z _i	3z _i	LM _i
p _{qd}	0,18	0,47	1,41	LM _{qd} = 0,42
p _{ar}	0,25	0,68	2,04	LM _{ar} = 0,48
Média	0,2150	0,57	1,71	LM = 0,45

Da Tabela 8.2 tem-se que o limite máximo permitido para a desatualização absoluta de níveis de informação principais é de 45% ($LM = 45\%$). Esse valor refere-se à média aritmética dos valores de LM_i . Tem-se ainda que o valor máximo permitido para a desatualização absoluta de níveis de informação secundários é de 48% ($LM_s = 48\%$), valor referente ao maior valor encontrado para LM_i .

Para se obter um único valor de limite máximo para a desatualização absoluta da base cartográfica (LM) calcula-se a média aritmética dos valores de LM_p e LM_s . Assim, obtém-se o valor de 46,5% ($LM = 46,5\%$).

Observa-se (Tab. 8.1) que o valor da desatualização absoluta referente ao nível de informação relativo a quadras ($DA_{qd} = 79\%$) é superior ao valor máximo permitido para a desatualização absoluta calculada para este NI ($LM_{qd} = 42\%$). Apenas este item já denuncia a necessidade de atualização do mapeamento ou da confecção de re-mapeamento. Assim, este NI referente á quadras será desconsiderado. A determinação da desatualização absoluta (DA) da base cartográfica fica dependente apenas de um NI, o referente ao arruamento, não havendo a necessidade de se efetuar a média aritmética entre os valores de DA_i . Assim, para este caso, a desatualização absoluta correspondente à base cartográfica analisada é de 34% (DA_{ar}) (Tab. 8.1).

8.2.1.2 Classificação da 'DA'

Para se proceder a classificação da desatualização absoluta da base cartográfica (DA), estabelece-se os intervalos de classificação em função do valor do limite máximo permitido para a desatualização absoluta da base cartográfica (LM). Sendo o valor de LM igual a 46,5, determina-se os demais valores do intervalo de classificação através da normalização para o intervalo [0 1], conforme Tabela 8.3. Assim, o valor de 34% referente a DA, correspondente a 73% na escala de intervalos genéricos, classifica-se como MÉDIA (22,78 – 34,41).

TABELA 8.3 – CLASSIFICAÇÃO DA DESATUALIZAÇÃO ABSOLUTA (DA)

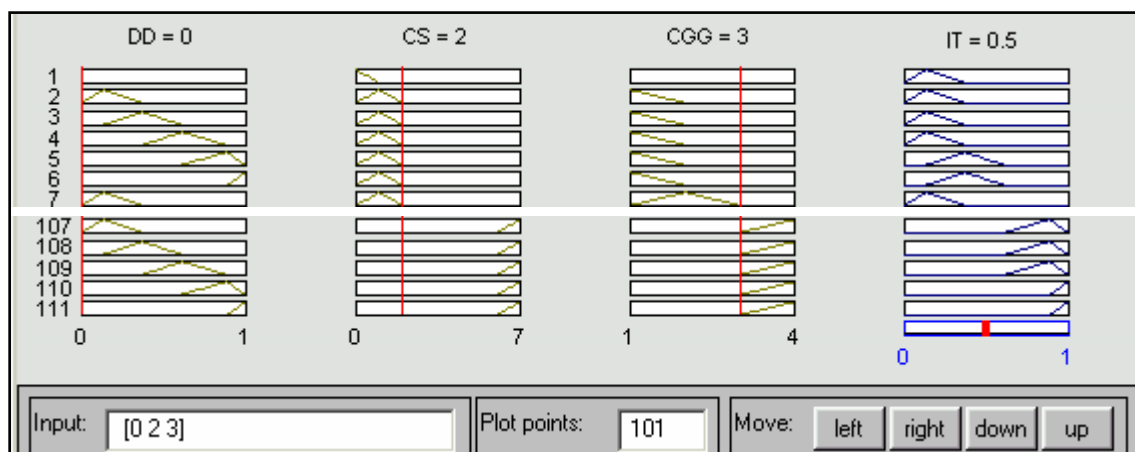
Classificação de DA:	Intervalos genéricos (Tab. 4.3):	Intervalos para esta aplicação:
ALTA – AL	[0,94 LM – 1,00 LM]	[43,71 – 46,5]
MÉDIA ALTA – MA	[0,74 LM – 0,94 LM]	[34,41 – 43,71]
MÉDIA – ME	[0,49 LM – 0,74 LM]	[22,78 – 34,41]
MÉDIA BAIXA – MB	[0,25 LM – 0,49 LM]	[11,62 – 22,73]
BAIXA - BA	[0,00 LM – 0,25 LM]	[0,00 – 11,62]

8.2.2 Cálculo do Indicador da Idade Tecnológica (IT)

O cálculo da Idade Tecnológica – IT é dependente das variáveis de Disponibilidade em sistema Digital (DD), Compatibilidade com o SGR atual (CS) e compatibilidade da Rede Vertical com o Geóide Global (CGG).

A Disponibilidade de informações em sistema Digital (DD) é nula, portando $DD = 0$, e a sua classificação é BAIXA (Tab. 7.6). Quanto à compatibilidade com o SGR Atual (CS) tem-se que, o mapeamento analisado, o de 1976, foi referenciado ao Datum Horizontal Córrego Alegre, o que o classifica CS (Tab. 7.7) como PEQUENA (2). E quanto à compatibilidade da RV-RGB com o Geóide Global, classifica o mapeamento em CGG (Tab. 7.9) como MÉDIA (3). Isto, em função da análise dos dados extraídos do mapeamento associados com as observações da Tabela 7.9. Sendo que os dados do mapeamento são: O Datum Vertical é o Marégrafo de Imbituba, a data é de 1976, e a equidistância das curvas de nível é de 5 em 5m, sendo que a tolerância de meia equidistância na escala de 1:10.000, não acrescenta maiores prejuízos. O Indicador da IT é calculado através da interseção dos conjuntos classificatórios das variáveis $DD = 0$ (BAIXA); $CS = 2$ (PEQUENA), e $CGG = 3$ (MÉDIA), conforme se apresenta na Figura 8.2, a qual mostra o resultado de $IT = 0,5$, sendo classificado (Tab. 7.10) como MÉDIA (0,49 – 0,74).

FIGURA 8.2 – CÁLCULO DO INDICADOR DA IDADE TECNOLÓGICA - IT



8.2.3 Cálculo do Indicador de Fatores que Modificam o Meio (FMM)

O cálculo do Indicador de Fatores que Modificam o Meio (FMM) é dependente das variáveis: Crescimento Populacional (CP), Projeção do Crescimento Populacional (PCP) e Consumo de Energia Elétrica (CEE). Para o Município de Piraquara, tem-se que o Crescimento Populacional é: $CP = 8,53$ (Fonte: www.cic.curitiba.com.br, acessado em: fev/2005). Portanto, a classificação (Tab. 7.18) é MUITO ALTA ($> 2,45$).

A Projeção do Crescimento Populacional (PCP) não foi encontrada especificamente para Piraquara, assim, estimou-se um valor a partir da taxa de crescimento populacional calculada para a região de Curitiba com base nos valores da população de 2000 que é de 1.587.315, e a projeção para 2015 que é de 3.209.400, conforme se segue:

$$\text{Pela equação (7.19): } TCP = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{\text{PopulaçãoFinal}}{\text{PopulaçãoInicial}}} \right) - 1 \right] * 100 = 4,8\%$$

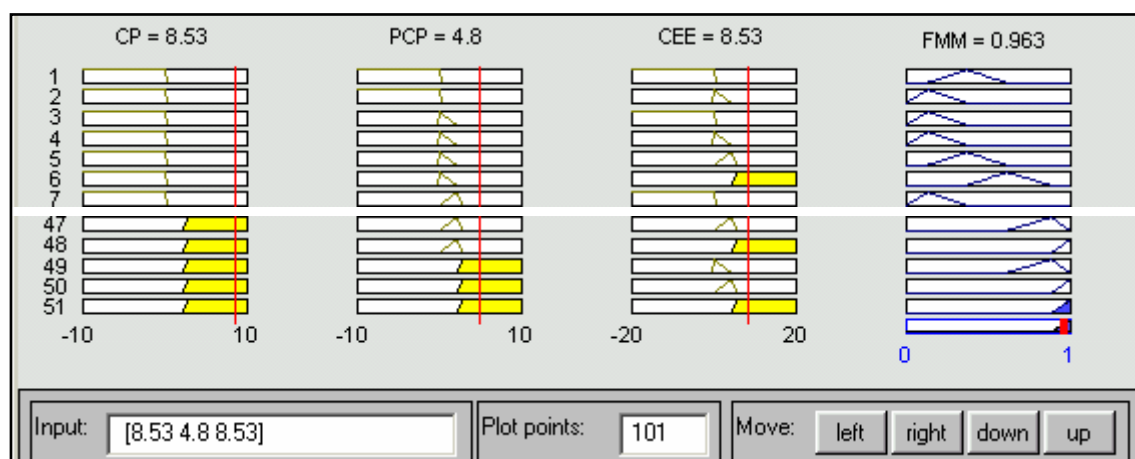
Então, assume-se que $PCP = 4,8$, o qual classifica-se (Tab. 7.18) como MUITO ALTO ($> 2,45$).

Considerando a impossibilidade de se obter o índice referente ao Consumo de Energia Elétrica (CEE) de Piraquara ou Curitiba, esse valor foi estimado como

sendo equivalente ao índice do Crescimento Populacional (CP). Portanto, o índice referente ao Consumo de Energia Elétrica (CEE) é estabelecido igual a 8,53, e a sua classificação (Tab. 7.21) é MUITO ALTA ($> 4,9$).

Com isto, o Indicador de FMM é calculado através da interseção dos conjuntos classificatórios das variáveis CP = 8,53 (MUITO ALTA), PCP = 4,8 (MUITO ALTA), e CEE = 8,53 (MUITO ALTA), conforme se apresenta na Figura 8.3, a qual mostra o resultado de FMM = 0,963 que tem como classificação (Tab. 7.22) ALTA ($> 0,94$).

FIGURA 8.3 – CÁLCULO DO INDICADOR DOS FATORES QUE MODIFICAM O MEIO (FMM)



8.2.4 Cálculo do Indicador de Velocidade de Desatualização (VD)

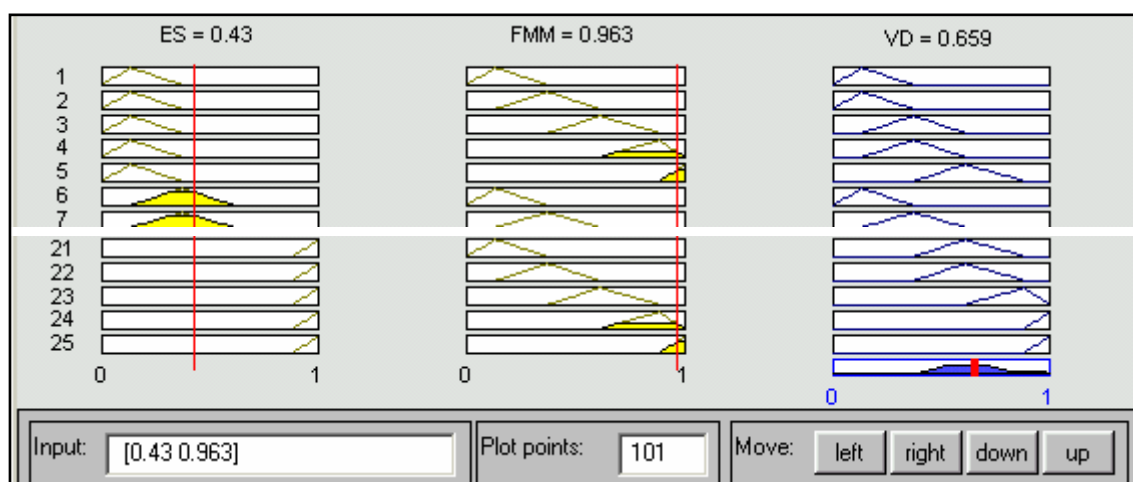
O cálculo do Indicador de Velocidade de Desatualização (VD) é dependente das variáveis Escala (ES) e Fatores que Modificam o Meio (FMM). A classificação da Escala (ES), considera o propósito do mapeamento. Portanto, considerando o mapeamento avaliado para uso de administração Municipal, utiliza-se a classificação (Tab. 7.14) estabelecida na Tabela 8.4. Assim, a Escala de 1:10.000 é classificada como MÉDIA (0,615), e a escala 1:20.000 é classificada como PEQUENA (0,25). Portanto, o valor de classificação da Escala da Base cartográfica é dado pela média aritmética entre as duas escalas utilizadas, onde se tem que ES = 0,43 (PEQUENA: 0,25 – 0,49).

TABELA 8.4 – CLASSIFICAÇÃO DA ESCALA (ES)

ESCALAS	Classificação de ES:	Intervalos genéricos (Tab. 4.12):
1:20.000 ou <	MUITO PEQUENA	[0,00 – 0,25]
1:15.000 – 1:20.000	PEQUENA	[0,25 – 0,49]
1:5.000 – 1:15.000	MÉDIA	[0,49 – 0,74]
1:1.000 – 1:5.000	GRANDE	[0,74 – 0,94]
1:1.000 ou >	MUITO GRANDE	[0,94 – 1,00]

Assim, o Indicador de VD é calculado através da interseção dos conjuntos classificatórios das variáveis $ES = 0,43$ (PEQUENA) e $FMM = 0,963$ (ALTA), conforme se apresenta na Figura 8.4, a qual mostra o resultado de $VD = 0,659$ cuja classificação (Tab. 7.26) é MÉDIA (0,49 – 0,74).

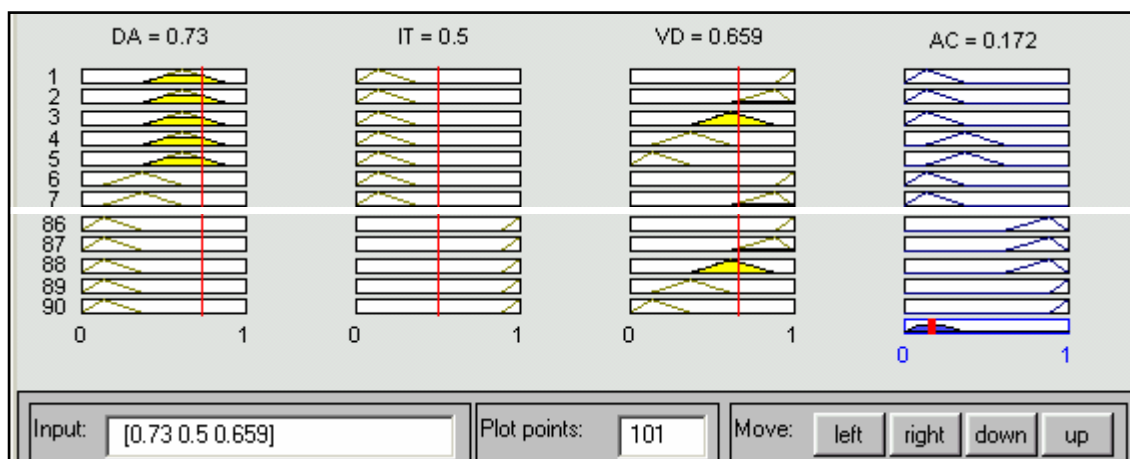
FIGURA 8.4 – CÁLCULO DO INDICADOR DE VELOCIDADE DE DESATUALIZAÇÃO (VD)



8.2.5 Cálculo do Indicador de Atualidade Cartográfica (AC)

O Indicador de Atualidade Cartográfica (AC) é calculado através da interseção dos conjuntos classificatórios das variáveis Desatualização Absoluta, $DA = 0,73$ (MÉDIA), Idade Tecnológica, $IT = 0,5$ (MÉDIA) e Velocidade de Desatualização, $VD = 0,659$ (MÉDIA), conforme se apresenta na Figura 8.5, a qual mostra o resultado de $AC = 0,172$ que é classificado (Tab. 7.27) como BAIXA (0,00 – 0,25).

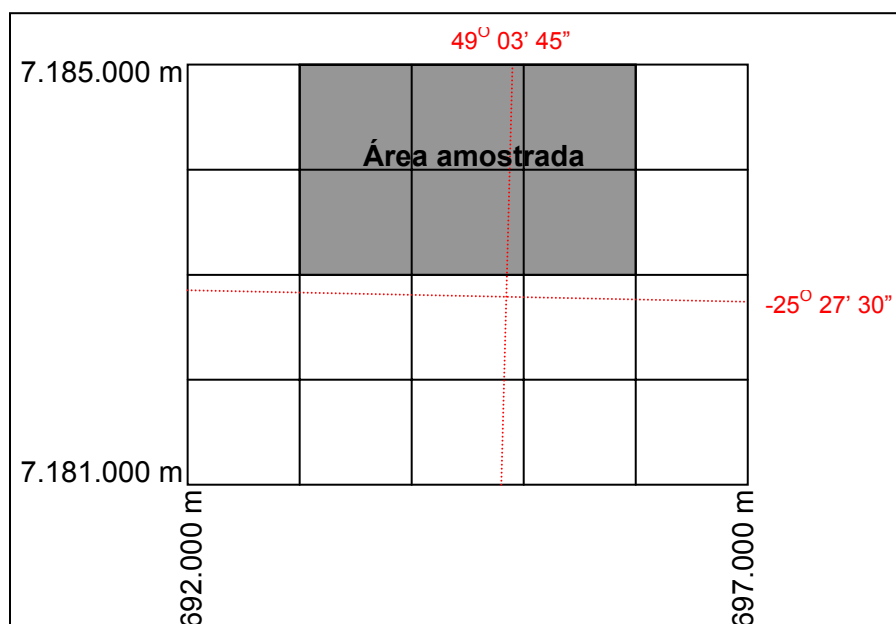
FIGURA 8.5 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ATUALIDADE CARTOGRÁFICA (AC)



8.2.6 Determinação do Indicador de Generalização Cartográfica (GC)

O Indicador de Generalização Cartográfica é composto pelos Indicadores de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P) e Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A). Embora se tenha estabelecido apenas os NI referentes a Quadras e Arruamento como sendo os de maior significância para o exemplo de aplicação considerado, a administração municipal, foi o NI referente às edificações que considerou-se para a avaliação de uma suposta generalização planimétrica. Observou-se que o mapeamento em escala 1:20.000 não foi generalizado do mapeamento 1:10.000, mas apenas reduzido. Assim, as informações referentes aos NI_{qd} (quadras) e NI_{ar} (arruamento) permanecem inalteradas nos documentos das duas escalas. Embora, o mesmo tenha ocorrido com as edificações, considerou-se uma amostra da área analisada para representar as edificações de modo generalizado. A área amostrada está indicada na Figura 8.6. O critério para generalização realizada nas edificações foi a possibilidade da representação individual, ou seja, para os casos em que a proximidade entre as edificações torna-se de difícil percepção na carta 1:20.000 representou-se na generalização como sendo uma única edificação. Assim, possibilitou-se a obtenção de dados para completar a realização deste exemplo de aplicação.

FIGURA 8.6 – ÁREA AMOSTRADA PARA A GC-P REFERENTE AO NI DE EDIFICAÇÕES



8.2.6.1 Classificação do Indicador de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P)

A Generalização Cartográfica Planimétrica é analisada sobre os dados referentes ao NI_{ed} (edificações). Na carta de escala 1:10.000 a quantidade de edificações representadas é de 562, e na carta de escala 1:20.000 a quantidade de edificações representadas é de 343. Com estes dados tem-se que:

- a) $X_o = 562$;
- b) $X_d = 343$;
- c) $Fr = Ed/E_o = 0,5$;
- d) $Fr_{(e)} = X_d/X_o = 0,61$.

Com o valor encontrado de 0,61 para o Fator de redução no número de feições representadas (Fr_r), a classificação (Tab. 7.34) da GC-P é definida como MÉDIA (0,4375 – 0,6250), conforme mostra a Tabela 8.5. Cabe lembrar que a variável GC-P tem os limites de classificação dependentes do Fator de redução entre as escalas (Fr). Assim, para cada caso é necessário adequar os valores limitantes dos conjuntos Fuzzy de GC-P.

TABELA 8.5 – CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PLANIMÉTRICA – GC-P

Classificação da GC-P	Intervalos genéricos	Intervalos para esta aplicação	
MUITO GRANDE – MG	5/8Fr – 1/2Fr	$5/8*0,5 - 1/2*0,5$	0,3125 – 0,25
GRANDE – GR	5/8Fr – 7/8Fr	$5/8*0,5 - 7/8*0,5$	0,3125 – 0,4375
MÉDIA – ME	7/8Fr – 5/4Fr	$7/8*0,5 - 5/4*0,5$	0,4375 – 0,6250
PEQUENA – PE	5/4Fr – 7/4Fr	$5/4*0,5 - 7/4*0,5$	0,6250 – 0,8750
MUITO PEQUENA – MP	7/4Fr – 2Fr	$7/4*0,5 - 2*0,5$	0,8750 – 1

8.2.6.2 - Classificação do Indicador de Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A)

A Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A) é estabelecida por meio da eqüidistância gráfica das curvas de nível (e). Sendo que tanto no mapeamento 1:10.000 como no mapeamento 1:20.000, a eqüidistância das curvas de níveis é de 5 m. Assim, tem-se que pela equação (7.28):

$$e = \text{Eq}/\text{Esc}$$

que para a escala 1:20.000, a eqüidistância gráfica é de 0,25.

Assim, a classificação (Tab. 7.37) para GC-A é PEQUENA (0,125 – 0,325), conforme mostra a Tabela 8.6.

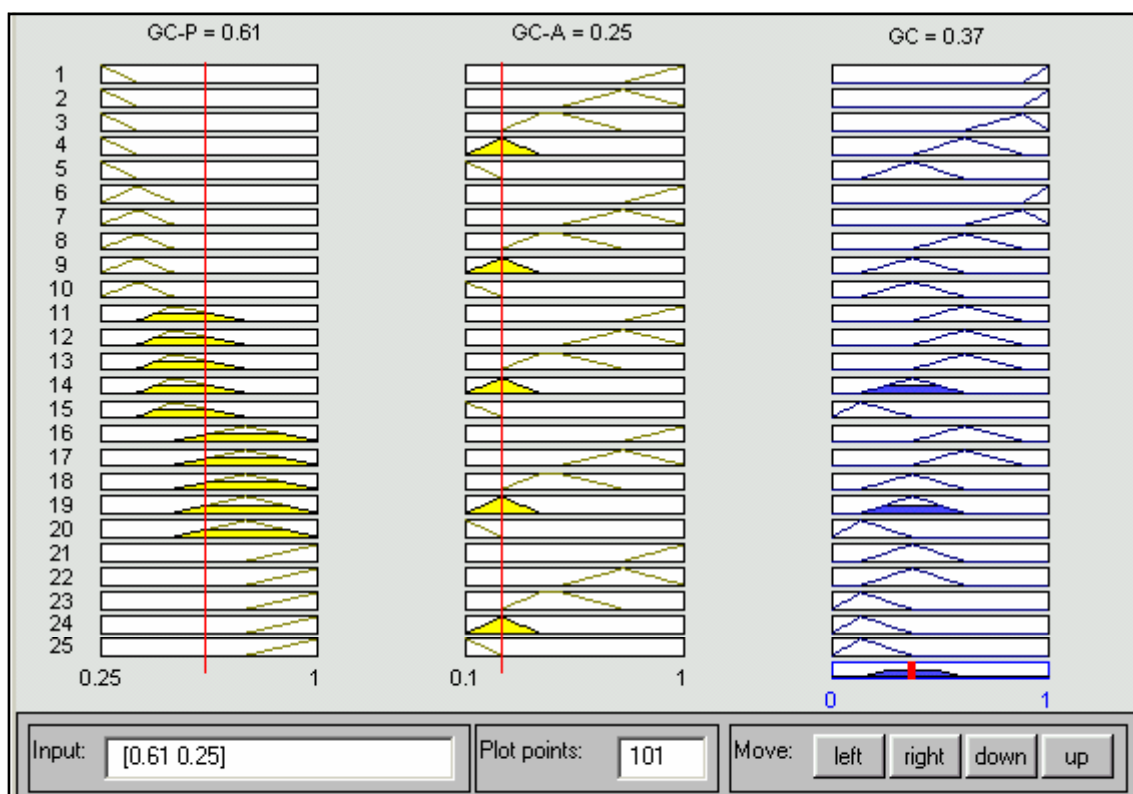
TABELA 8.6 – CLASSIFICAÇÃO DA GENERALIZAÇÃO ALTIMÉTRICA – GC-A

Classificação da GC-A	Intervalos
MUITO GRANDE – MG	$e > 0,875$
GRANDE – GR	$0,625 < e < 0,875$
MÉDIA – ME	$0,325 < e < 0,625$
PEQUENA – PE	$0,125 < e < 0,325$
MUITO PEQUENA – MP	$e < 0,125$

8.2.6.3 - Cálculo do Indicador de Generalização Cartográfica (GC)

O Indicador de Generalização Cartográfica (GC) é calculado pela interseção dos conjuntos classificatórios da variável Generalização Cartográfica planimétrica, GC-P = 0,61 (MÉDIA), e a Generalização Cartográfica altimétrica, GC-A = 0,25 (PEQUENA), conforme se apresenta na Figura 8.7, a qual mostra o resultado de GC = 0,37 que tem como classificação (Tab. 7.38) PEQUENA (0,25 – 0,49).

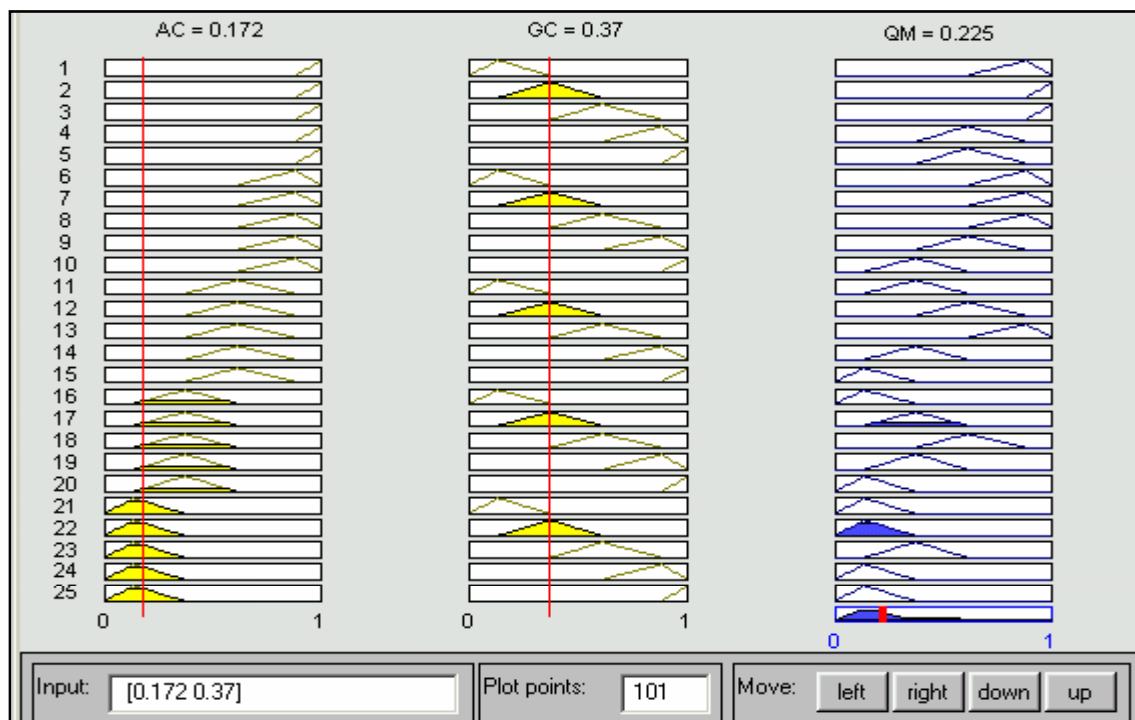
FIGURA 8.7 – CÁLCULO DO INDICADOR DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA (GC)



8.2.7 Cálculo do Indicador da Qualidade de Mapeamento (QM)

O Indicador da Qualidade de Mapeamento (QM) é calculado pela interseção dos Indicadores de Atualidade Cartográfica (AC) e Generalização Cartográfica (GC). A Figura 8.8 mostra o resultado da operação de interseção entre $AC = 0,172$ (BAIXA) e $GC = 0,37$ (PEQUENA). Portanto a Qualidade de Mapeamento da Base cartográfica para o Município de Piraquara, formada pelas cartas de 1976 em escalas 1:10.000 e 1:20.000 é a seguinte: $QM = 0,225$, cuja classificação (Tab. 7.42) é MUITO PEQUENA (0,00 – 0,25).

FIGURA 8.8 – CÁLCULO DO INDICADOR DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO (QM)



Portanto, conclui-se que a base cartográfica considerada nesta aplicação possui grande volume de informação ($GC = PE$), porém, desatualizadas ($AC = BA$). A conclusão final obtida nesta aplicação revela uma situação mais crítica para a base cartográfica do que a encontrada no exemplo desenvolvido no capítulo 7. A Tabela 8.7 apresenta os valores de entrada e os resultados obtidos nesta aplicação.

TABELA 8.7 – RESULTADOS OBTIDOS

Valores de Entrada	Indicadores					
	IT	VD	FMM	AC	GC	QM
DA	-	-	-	ME (0,73)	-	-
IT	-	-	-	ME (0,50)	-	-
DD	BA (0,00)	-	-	-	-	-
CS	PE (2)	-	-	-	-	-
CGG	ME (3)	-	-	-	-	-
VD	-	-	-	ME (0,659)	-	-
ES	-	PE (0,43)	-	-	-	-
FMM	-	AL (0,963)	-	-	-	-
CP	-	-	ML (8,53)	-	-	-
PCP	-	-	ML (4,8)	-	-	-
CEE	-	-	ML (8,53)	-	-	-
AC	-	-	-	-	-	BA (0,172)
GC	-	-	-	-	-	PE (0,39)
GC-P	-	-	-	-	ME (0,61)	-
GC-A	-	-	-	-	PE (0,25)	-
RESULTADOS	ME (0,50)	ME (0,659)	AL (0,963)	BA (0,172)	PE (0,37)	MP (0,225)
+ (>0,615); - (<0,615)	-	-	-	-	+	-

Analisa-se os valores obtidos, relativamente à contribuição positiva ou negativa para o Indicador da Qualidade de Mapeamento (QM), tendo-se como parâmetro de comparação o valor médio (0,615) do intervalo de classificação MÉDIA (0,49 – 0,74). Assim, os valores encontrados para os Indicadores Idade Tecnológica (IT = 0,5: negativamente abaixo do valor médio), Velocidade de Desatualização (VD = 0,659: negativamente acima do valor médio), Fatores que Modificam o Meio (FMM = 0,963: negativamente acima do valor médio) e Atualidade Cartográfica (AC = 0,172: negativamente abaixo do valor médio) caracterizam contribuição negativa para o Indicador de Qualidade de Mapeamento. Apenas o Indicador da Generalização Cartográfica (GC = 0,37: positivamente abaixo do valor médio) contribui positivamente, por indicar a classificação PEQUENA, isto é, as informações representadas nesta base cartográfica são abundantes. Com as considerações acima, facilmente compreende-se a classificação obtida para o Indicador final da avaliação da Qualidade de Mapeamento (QM = 0,225) como MUITO PEQUENA, pois, dos cinco Indicadores componentes da Qualidade de Mapeamento (IT, VD, FMM, AC) apenas um (GC) contribuiu positivamente.

9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

9.1 O MODELO PROPOSTO

O modelo proposto para a quantificação e a conseqüente avaliação da qualidade de base cartográfica foi composto por Indicadores quantitativos referentes à Acuracidade, Precisão, Generalização, Atualização e Legibilidade. O estabelecimento destes Indicadores se deu por combinação de valores que apesar de possuírem características pertinentes ao propósito do Indicador, são de grandezas diferentes. Esta capacidade atribuída aos Indicadores proporciona ao modelo produzir resultados parciais e finais que podem ser combinados, e até ponderados, de acordo com os objetivos de uso do mapeamento. Portanto, esta flexibilidade na determinação dos resultados atendeu a proposta de avaliação contextual da qualidade do mapeamento.

O autor TRZESNIAK (1998) afirma (item 5.1) que os Indicadores devem possuir como características indispensáveis o seguinte:

- a) Relevância. Os Indicadores propostos ao modelo referem-se aos aspectos que são relevantes ao conhecimento da qualidade de mapeamento. Pois, a pesquisa mostra que as características abordadas em cada Indicador são as mesmas abordadas na maioria dos padrões de metadados abordados mundialmente (ver BURITY & SÁ, 2002; GUPTILL & MORRISON, 1995);
- b) Gradação de intensidade. Os principais Indicadores propostos são classificados em intervalos tais que possibilitam uma variação flexível e suficientemente abrangente. Embora os intervalos do conjunto universo de cada Indicador considerado sejam diferentes, pela normalização ao intervalo $[0, 1]$ ficam padronizados, e isto, garante que o Indicador além de variar suficientemente no espaço de interesse ainda possibilita a classificação padronizada permitindo comparações entre eles;

- c) Univocidade. Cada indicador possui característica bem definida, e retrata claramente um aspecto único da qualidade de mapeamento. Porém, as variáveis que compõem o Indicador ainda necessitam de maior investigação e observação;
- d) Padronização e Estabilidade. Estas características são dependentes do item anterior. A padronização e estabilidade ocorrem com o tempo decorrido pelo uso;
- e) Rastreabilidade. É recomendado que na construção dos Indicadores seja efetuado o registro de todos os dados de observação do processo e das pessoas participantes. Esta é uma característica contínua que deve coexistir com a própria existência do Indicador.

9.1.1 Comparação entre os Parâmetros de Avaliação dos Padrões SDTS e do Modelo Proposto

Os parâmetros de Acuracidade, Precisão, Generalização, Atualização e Legibilidade, definidos para avaliação da qualidade da base cartográfica contemplam todos os aspectos considerados pelo principal padrão mundial relativo à qualidade de dados espaciais que é o SDTS, desenvolvido pelo FGDC dos Estados Unidos.

O padrão SDTS, assim como os demais sistemas de padronização, que na sua maioria derivam do padrão SDTS, possuem seus objetivos voltados para a armazenagem e transferência de dados espaciais, bem como a comunicação da qualidade destes dados espaciais. Estes objetivos são tarefas a serem executadas pelo produtor e mantenedor dos dados espaciais. A função da padronização de dados espaciais é, em síntese, documentar adequadamente todas as informações referentes à localização, ao acesso e ao conhecimento da qualidade dos dados mapeados. Estes objetivos diferem do objetivo do modelo proposto apresentado neste trabalho. As diferenças, principalmente funcionais, relativas aos parâmetros de qualidade de mapeamento entre o padrão SDTS e o modelo proposto são apresentadas na Tabela 9.1.

TABELA 9.1 – PROPOSTA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE DADOS ESPACIAIS NOS PADRÕES SDTS E MODELO PROPOSTO.

PARÂMETRO DE QUALIDADE: (SDTS E/OU MODELO)	COMPOSIÇÃO E FUNÇÃO NO PADRÃO SDTS	COMPOSIÇÃO E FUNÇÃO NO MODELO PROPOSTO
Linhagem	Provê informações sobre todas as fontes de dados, as datas, processamentos e transformações utilizadas tanto na confecção como nas atividades de atualização do mapeamento.	Não utiliza as informações de linhagem , justamente por serem escassas ou até mesmo inexistentes. O modelo busca, então solução por meio de outros dados.
Acuracidade Posicional	Provê informações referentes à proximidade dos valores das coordenadas extraídas do mapeamento em relação às respectivas coordenadas naturais.	A ser desenvolvido - Utilizar informações relativas à: acuracidade posicional (PEC); acuracidade de atributos; e de consistência das informações gráficas, e topológicas, combinadas com a classificação dos Níveis de Informação. Então, determina-se o valor indicador da acuracidade contextual do mapeamento.
Acuracidade de Atributo	Provê informações sobre a possibilidade de erros nos valores dos atributos.	
Consistência Lógica	Provê informações indicativas da qualidade gráfica e integridade topológica do mapeamento digital.	
Compleitude	Provê informações sobre os critérios de seleção das feições a serem mapeadas, sobre a menor área ou largura a ser representada, e sobre consistência lógica.	IMPLÍCITO: A completude é considerada tanto nos índices de generalização como de consistência lógica.
Precisão	IMPLÍCITO: A precisão encontra-se nas informações relativas à resolução gráfica e acuracidade dos levantamentos, nas informações de Linhagem, Acuracidade e Compleitude.	A ser desenvolvido. Utilizar as informações de: escala - relativas à resolução possível de representação das feições cartográficas; do PEC; e de consistência lógica, para se obter o indicador da precisão do mapeamento.
Legibilidade	IMPLÍCITO: A legibilidade, ou qualidade de comunicação gráfica encontra-se em consistência lógica.	A ser desenvolvido. Utilizar as informações relativas à densidade de informação nos NI, a consistência lógica, e a classificação quanto à clareza da linguagem cartográfica, para obter o indicador da legibilidade do mapeamento.
Atualização Cartográfica	IMPLÍCITO: A atualização das informações pode ser conhecida apenas com base nas datas de levantamento dos dados que devem ser registradas em linhagem.	Utiliza as informações de escala, desatualização absoluta, fatores que modificam o meio e idade tecnológica para a determinação do indicador da atualidade cartográfica do mapeamento.
Qualidade do Mapeamento	IMPLÍCITO: A qualidade se expressa implicitamente em todas as demais informações, e não é conhecida por parâmetro isolado.	Combina todas as demais informações e quantifica em um único parâmetro o que se caracteriza como sendo a qualidade contextual do mapeamento .

O presente modelo propõe avaliar a qualidade do documento cartográfico por meio de informações provenientes do próprio mapeamento, como generalização, legibilidade, precisão ou escala, e de informações relacionadas também com a região mapeada, como é o caso da atualidade e acuracidade. A avaliação da qualidade do documento cartográfico através do modelo proposto considera ainda o contexto de uso

do mapeamento, ou seja, avalia a qualidade contextual, a qualidade do documento para o desenvolvimento das atividades pretendidas pelo usuário. Tendo-se em vista a carência nacional relativa à existência de metadados de qualidade para os dados espaciais, ou dados de linhagem, o modelo proposto busca avaliar o documento cartográfico por meio de dados existentes, de forma a permitir identificar a qualidade destes documentos e permitir uma avaliação da base cartográfica adequada ao propósito de uso.

Com exceção do elemento ‘linhagem’, que não é parâmetro de qualidade, mas, um meio de se conhecer a qualidade, e o parâmetro ‘completude’ que é verificado implicitamente no parâmetro de Generalização e Consistência Lógica, observa-se que todos demais parâmetros abordados pelo padrão SDTS estão sendo considerados no modelo proposto. E ainda, o modelo proposto utiliza-se de outros parâmetros que, estão presentes no padrão SDTS apenas implicitamente, como é o caso da Precisão, Legibilidade, Atualização Cartográfica e Qualidade do Mapeamento, conforme mostra a Tabela 9.1. Adicionalmente o modelo proposto possibilita o conhecimento quantitativo de todos os parâmetros.

Resumidamente observa-se que o padrão SDTS prevê o registro histórico dos dados e métodos de mapeamento para possibilitar o resgate dos parâmetros de qualidade dos dados espaciais, enquanto que o modelo proposto busca quantificar os parâmetros de qualidade do mapeamento através de informações extraídas do próprio documento cartográfico e do ambiente mapeado, como população e atualidade de tecnologia envolvida no mapeamento analisado. Dada as considerações acima, constata-se que os cinco parâmetros para avaliar a qualidade de mapeamento, Acuracidade, Precisão, Generalização, Atualização e Legibilidade, propostos pelo modelo presente, atendem os principais requisitos de qualidade abordados pelos padrões referentes à qualidade de dados espaciais estabelecidos mundialmente.

9.2 CLASSIFICAÇÕES DOS INDICADORES

Todos os valores atribuídos aos Indicadores, variáveis ou parâmetros procederam de critérios de classificação quantitativa, ou seja, os processos de classificação propõem agrupar valores quantitativos, de uma certa grandeza, semelhantes entre si. Os intervalos de classificação foram definidos por subdivisões dos valores de *sigma* ($(1/2)\sigma$, σ , $(3/2)\sigma$, 2σ , 3σ) referentes à distribuição normal. Assim, cinco intervalos foram definidos para se estabelecerem cinco classes. Estas foram definidas em função das ordenadas dos valores de *sigma* correspondentes (0,3989 0,3520 0,2419 0,1497 0,0540 0,0044) e normalizadas ao intervalo de [0, 1]. Com isso, definiram-se os seguintes intervalos de classe: [1,00 à 0,94]; [0,94 à 0,74]; [0,74 à 0,49]; [0,49 à 0,25] e [0,25 à 0,00], os quais agrupam valores próximos relativos às frequências de probabilidades distribuídas segundo a curva normal, embora não haja qualquer interpretação de ‘probabilidades’ as classes assim definidas consideram ao elemento classificado um comportamento segundo a curva normal. Estes intervalos de classificação em função de *sigma* foram adotados para os principais elementos do modelo, os quais são os seguintes:

- a) o Indicadores da Idade Tecnológica (IT);
- b) o Indicador da Velocidade de Desatualização (VD);
- c) o Indicador de Fatores que Modificam o Meio (FMM);
- d) o Indicador de Atualidade Cartográfica (AC);
- e) o Indicador de Generalização Cartográfica (GC);
- f) o Indicador de Qualidade de Mapeamento (QM);
- g) a variável da Desatualização Absoluta (DA), cujos valores de classificação ficaram em função do Limite Máximo de ‘DA’ (LM_T);
- h) a variável Disponibilidade dos dados em Sistema Digital (DD);
- i) o parâmetro Escala (ES).

Os demais elementos foram classificados com intervalos definidos segundo características específica. São estes:

- a) a variável Compatibilidade com o SGR atual (CS), que possui oito classes variando entre zero e sete da seguinte forma: $[0/0,5/1,5/2,5/3,5/4,5/5,5/6,5/7]$;
- b) a variável de Compatibilidade com o Geóide Global (CGG), a qual possui quatro classes variando entre zero e quatro da seguinte forma: $[1/1,5/2,5/3,5/4]$;
- c) a variável de Crescimento Populacional (CP) e de Projeção de Crescimento Populacional (PCP) as quais possuem quatro classes que variam de -10 até 10, cujas classes extremas são abertas, da seguinte forma: $[-10 \text{ ou } < /0/1,05/2,45/10 \text{ ou } >]$;
- d) a variável de Consumo de Energia Elétrica (CEE) que possui quatro classes variando entre -20 e 20, da seguinte forma: $[-20 \text{ ou } < /0/2,1/4,9/20 \text{ ou } >]$;
- e) o Indicador de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P), com cinco classes em função do Fator de redução de escalas (Fr) da seguinte forma: $[1/2Fr \text{ ou } <; 5/8Fr; 7/8Fr; 5/4Fr; 7/4Fr; 2Fr \text{ ou } >]$
- f) o Indicador de Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A), com cinco classes em função da equidistância gráfica das curvas de nível (e) da seguinte forma: $[> 0,0 \text{ até } 0,1; 0,125; 0,325; 0,625; 0,875; 1 \text{ ou } >]$.

Assim, todos os Indicadores de maior relevância no modelo (IT, FMM, VD, AC, GC, QM), ou seja, aqueles que produziram um resultado através do processamento do Sistema de Inferência Fuzzy (SIF), foram submetidos à classificação segundo um comportamento normal, caracterizando o mesmo comportamento normal para todo o modelo. Isto foi imposto neste sistema de avaliação da qualidade de mapeamento pela consideração de que o comportamento normal é adequado tanto em processos referentes à qualidade como nas medidas relacionadas a dados espaciais.

9.2.1 Considerações relativas ao Indicador de Atualidade Cartográfica (AC)

Os Indicadores principais desenvolvidos neste trabalho foram o de Atualidade Cartográfica e o de Generalização Cartográfica. O Indicador de Atualidade Cartográfica foi definido pela classificação dos valores de Desatualização Absoluta (DA), da Idade Tecnológica (IT) e da Velocidade de Desatualização (VD), onde cada um deles referenciou um aspecto relevante na determinação da atualidade cartográfica. Ou seja, respectivamente estes Indicadores consideram a desatualização (DA) que ocorre continuamente nos documentos cartográficos devido ao caráter dinâmico do ambiente; da geração tecnológica envolvida (DD, CS e CGG) que considera ações do passado quando da elaboração do documento, e das tendências futuras de desatualização para os respectivos documentos (ES, CP, PCP e CEE).

A classificação da Desatualização Absoluta não é obtida diretamente. Isto, é, as classes para a variável 'DA' foram estabelecidas em função da determinação dos limites máximos (LM) permitidos à desatualização absoluta de cada feição cartográfica, segundo as exigências de operacionalização dos propósitos. Estes limites devem ser impostos pelo usuário sendo que os intervalos de variação ficam em função de LM [0,0 LM e 1LM].

O Indicador referente à Idade Tecnológica (IT) é composto pela quantidade de informações cartográficas disponíveis em sistemas digitais (DD), e pela classificação de compatibilidade entre os Sistemas Geodésicos de Referência atuais, horizontal (CS) e vertical (CGG), com os que foram utilizados na confecção do mapeamento. A classificação quanto à disponibilidade de informações em sistemas digitais (DD) é definida diretamente do valor percentual relativo ao total das informações que compõem a base cartográfica avaliada. Porém, a classificação quanto aos Sistemas de Referência Geodésicos (CS e CGG) requer uma investigação de dados sobre as condições das redes utilizadas. Normalmente estes dados de apoio geodésico, estão descritos na legenda do documento cartográfico, embora, nem sempre sejam suficientes para se obter as classificações diretamente das Tabelas correspondentes. As

considerações para classificar a CS e a CGG podem ainda exigir análise conjunta com a região mapeada e com a escala utilizada. A análise do efeito das imprecisões relatadas nas respectivas Tabelas (7.7 e 7.9) podem ser mais ou menos significativas de acordo com as condições apresentadas pela região e pela escala. Quando a escala é suficientemente grande para não absorver as imprecisões inerentes às redes geodésicas utilizada naquele mapeamento, as consequências destas imprecisões são maiores e a classificação passará, então, a ter um índice menor de compatibilidade (CS) do que se esse índice fosse extraído diretamente das Tabelas (7.7 e 7.9) sem considerar os efeitos da escala. Sendo que para as escalas menores, os índices CS e CGG se mantêm de acordo com as informações das Tabelas correspondentes. Portanto, as Tabelas (7.7 e 7.9) que classificam as variáveis CS e CGG ainda não são suficientemente completas para permitirem uma classificação direta, isto é, sem a consideração de variáveis ou parâmetros específicos a cada caso de mapeamento. Este fato demonstra a necessidade de se desenvolver estudos mais completos para que a classificação quanto a compatibilidade entre SGRs seja fácil e objetiva.

O Indicador da Velocidade de Desatualização (VD) foi composto pelos valores referentes ao parâmetro Escala (ES) e pelo Indicador de Fatores que Modificam o Meio (FMM). O parâmetro Escala (ES) considerou o universo das escalas utilizadas a um determinado propósito, em cinco classes. A partir destes, procedeu-se diretamente a classificação do parâmetro Escala (ES).

O Indicador referente aos Fatores que Modificam o Meio (FMM) foram compostos pelos índices de crescimento populacional (CP), pela respectiva projeção de crescimento (PCP) e pelo índice de consumo de energia elétrica (CEE) da região mapeada. Estes índices são classificados diretamente das Tabelas 7.18 e 7.21, porém, cabe observar que os limites de classificação destas variáveis (CP, PCP, CEE) devem ser mais específicos a cada região considerada. Principalmente para o caso do Brasil, onde as diferenças sociais e econômicas entre as regiões são muito diversificadas. Portanto, as classificações envolvidas no Indicador de FMM podem requerer ajustes à realidade específica da região mapeada, o que requer levantamentos mais detalhados

para cada caso. Cabe ressaltar ainda, que para as regiões rurais o indicador de FMM pode ser composto por outros indicativos, isto é, ao invés de indicativos de população e consumo de energia elétrica, conforme foi considerado para as regiões urbanas, estes devem ser substituídos por indicativos de vegetação e de potencial hídrico, por exemplo. É importante que o Indicador FMM seja capaz de informar o quantitativo das principais ações que modificam o meio mapeado. E estas ações podem diferir de acordo com o meio que se analisa.

9.2.2 Considerações relativas ao Indicador de Generalização Cartográfica (GC)

O Indicador de Generalização Cartográfica (GC) é composto pelos Indicadores de Generalização Cartográfica Planimétrica (GC-P) e de Generalização Cartográfica Altimétrica (GC-A). O Indicador de Generalização Cartográfica Planimétrica considerou o Fator de Redução (Fr) entre as escalas envolvidas para a geração do documento cartográfico generalizado, ou seja, a escala do documento origem e a escala do documento generalizado. Esse fator de redução de escala foi o elemento utilizado para a definição dos limites de sua classificação. Assim, para cada caso de aplicação, os limites da classificação da Generalização Planimétrica (GC-P) devem ser definidos em função da relação de escalas envolvidas. Já os intervalos de classificação do Indicador de Generalização Altimétrica (GC-A) foram estabelecidos em função da equidistância gráfica (e) das curvas de nível. Como este parâmetro (e) é padronizado, os intervalos de classes não se alteram entre os diferentes casos de aplicação, portanto, a sua classificação é obtida de forma direta.

Finalmente, a classificação do Indicador de Qualidade de Mapeamento, composto pelos Indicadores, de Atualidade Cartográfica (AC) e Generalização Cartográfica (GC), é obtido de forma direta através dos intervalos fixados com base na distribuição da curva normal, conforme é o caso de todos os demais Indicadores principais.

9.3 QUANTITATIVOS OBTIDOS PELOS INDICADORES

A Tabela 9.2 apresenta os resultados encontrados nos dois desenvolvimentos, ou seja, o exemplo do Capítulo 7 – Quantificação dos Parâmetros, e a aplicação desenvolvida no Capítulo 8, para a análise dos resultados.

TABELA 9.2 – RESULTADOS OBTIDOS NOS CAPITULOS 7 E 8 PARA OS INDICADORES DO MODELO

Indicadores	Valores intermediários			Resultados
Cap.7: IT	DD = 0,88 (MA)	CS = 5,9 (MG)	CGG = 3,4 (ME)	IT = 0,725 (ME)
Cap.8: IT	DD = 0,00 (BA)	CS = 2,0 (PE)	CGG = 3,0 (ME)	IT = 0,50 (ME)
Cap.7: FMM	CP = 2,11 (AL)	PCP = 1,8 (AL)	CEE = 4,67 (AL)	FMM = 0,7111 (ME)
Cap.8: FMM	CP = 8,53 (ML)	PCP = 4,8 (ML)	CEE = 8,53 (ML)	FMM = 0,963 (AL)
Cap.7: VD	ES = 0,49 (PE/ME)	FMM = 0,711 (ME)	-	VD = 0,562 (ME)
Cap.8: VD	ES = 0,43 (PE)	FMM = 0,963 (AL)	-	VD = 0,659 (ME)
Cap.7: AC	DA = 0,70 (ME)	IT = 0,725 (ME)	VD = 0,562 (ME)	AC = 0,407 (MB)
Cap.8: AC	DA = 0,73 (ME)	IT = 0,50 (ME)	VD = 0,659 (ME)	AC = 0,172 (BA)
Cap.7: GC	GC-P = 0,252 (PE)	GC-A = 0,25 (PE)	-	GC = 0,37 (PE)
Cap.8: GC	GC-P = 0,61 (ME)	GC-A = 0,25 (PE)	-	GC = 0,37 (PE)
Cap.7: QM	AC = 0,407 (MB)	GC = 0,37 (PE)	-	QM = 0,423 (PE)
Cap.8: QM	AC = 0,172 (BA)	GC = 0,37 (PE)	-	QM = 0,225 (MP)

Na comparação dos resultados (Tab. 9.2) obtidos no capítulo 8 (Tab. 8.7) comparativamente aos resultados obtidos no capítulo 7 (Tab. 7.45), são comentados a seguir:

- houve classificação inferior para a Qualidade de Mapeamento nos Indicadores IT, FMM, VD e AC, enquanto que para o Indicador GC se manteve inalterada;
- o Indicador de QM obteve menor valor e teve sua classificação mais baixa.

Os resultados obtidos mostram-se coerentes relativamente aos dados de entrada do modelo, e principalmente evidencia-se o conceito de adequabilidade do método em relação aos propósitos de uso do mapeamento. O método deve ser implantado de acordo com a ênfase dada pelo propósito de uso, o qual deve ser considerado principalmente no estabelecimento das bases de regras para as operações Fuzzy.

10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1 CONCLUSÕES

O desejo constante por buscar mais conhecimentos vai além de uma necessidade inerente ao raciocínio humano. Buscar conhecer é buscar controle e domínio, ou seja, é basear-se na convicção de que quantificar criteriosamente amplia as possibilidades de domínio e controle. Inicialmente estabeleceu-se como definição da qualidade de dados espaciais o conjunto dos parâmetros relativos à Atualidade, Generalização, Precisão, Acuracidade e Legibilidade. Estes parâmetros foram definidos como Indicadores, e, portanto, criados pela combinação de elementos relevantes ao propósito de cada um. Cada elemento foi quantificado por intermédio de classificação. O sistema para se avaliar a qualidade da base cartográfica deu-se pela criação de um modelo formado por Indicadores referenciados aos indicadores de qualidade de mapeamento, cujo processamento ocorreu através do Sistema de Inferência Fuzzy. Assim, o objetivo principal deste trabalho, o de quantificar parâmetros de qualidade do mapeamento para avaliação da qualidade de bases cartográficas foi alcançado.

Dos cinco Indicadores propostos no modelo de avaliação da qualidade de base cartográfica, dois deles foram desenvolvidos neste trabalho. O de Atualidade Cartográfica (AC) e o de Generalização Cartográfica (GC). Estes Indicadores foram criados a partir da combinação de variáveis, tais como, a desatualização absoluta (DA), a disponibilidade dos dados em meio digital (DD), a compatibilidade dos SGRs utilizados no mapeamento com os SGR atuais (CS e CGG), o crescimento populacional (CP e PCP), o consumo de energia elétrica (CEE) da região mapeada, a generalização cartográfica planimétrica e altimétrica (GC-P e GC-A), e ainda, o parâmetro de escala (ES). Estes dados de entrada foram combinados de forma a produzirem Indicadores intermediários como, o da Idade Tecnológica (IT), da

Velocidade de Desatualização (VD), e dos Fatores que Modificam o Meio (FMM) mapeado. Finalmente, partindo-se da determinação destes Indicadores principais (AC e GC) se obteve o Indicador final que é o da Qualidade de Mapeamento (QM). Os valores de entrada são classificados e combinados segundo o propósito de uso. Portanto, os resultados obtidos estão condicionados aos objetivos e necessidades de cada aplicação da base cartográfica. Assim, convém reportar-se ao Indicador final como sendo aquele que indica a ‘Qualidade Contextual’ da base cartográfica, ou seja, indica a qualidade adequada para o contexto de uma determinada aplicação.

Os Indicadores propostos pelo modelo contemplam todos os aspectos relevantes da qualidade de mapeamento considerados pelos principais padrões de dados espaciais já estabelecidos mundialmente como, por exemplo, o padrão SDTS estabelecidos pelos Estados Unidos da América. A importância do padrão SDTS, além de seu conteúdo técnico, está também na função que desempenha como referência a diversos padrões criados na maioria dos países, inclusive no Brasil com a definição do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

Os principais elementos desenvolvidos no modelo criado para a avaliação da qualidade de mapeamento foram classificados com intervalos de classe definidos a partir do valor de σ da função densidade de probabilidade normal. Com isto, o modelo, ainda que isento de qualquer tratamento estatístico, fica caracterizado pelo comportamento da curva normal, o que é apropriado tanto aos processos relativos à qualidade, como às aplicações de trabalhos que envolvem dados cartográficos e fenômenos naturais, conforme cita SIMLEY (2001).

Os resultados obtidos com o desenvolvimento teórico no capítulo 7 e com a aplicação desenvolvida no capítulo 8 mostraram-se de igual coerência. Dos resultados obtidos evidenciou-se que os principais elementos a serem considerados no modelo são as ações impositivas do usuário na determinação de suas necessidades de acordo com a aplicação do documento cartográfico. Pois, a atribuição de maior relevância dos parâmetros considerados no processamento do modelo está na construção da base de regras do Sistema de Inferência Fuzzy, o qual processa a combinação de todos os

dados e, portanto, os resultados são dependentes destas considerações. Com isto, o método assegura a flexibilidade para avaliar bases cartográficas em diferentes contextos.

O desenvolvimento de Indicadores foi apropriado para a definição objetiva e quantitativa de conceitos subjetivos, pois trata do processamento de diferentes grandezas que através de padronização é possível tanto a combinação, ou agregação, destas diferentes grandezas, como possibilita também a comparação dos valores resultantes. Porém, vale destacar que o estabelecimento de Indicadores, em qualquer processo, exige cuidadosas observações de causa e efeito, normalmente, registradas por especialistas multidisciplinares durante longo período de tempo até que os resultados possam retratar a realidade com fidelidade. Os Indicadores são elementos dependentes dos fatos e atividades que direta ou indiretamente interferem em seu comportamento, portanto, são maleáveis de acordo com a situação que os envolve. Se a realidade em torno dos Indicadores é modificada, os elementos que compõem os Indicadores também devem ser modificados para que os resultados sejam ajustados de acordo com a realidade considerada. Assim, cabe ressaltar que os Indicadores do modelo proposto apenas iniciam o processo de seu estabelecimento na avaliação da qualidade da base cartográfica. Entende-se ser necessário longo período de experimentos acompanhados por especialistas das diversas ciências envolvidas na formação de cada Indicador antes de seu estabelecimento.

O Sistema de Inferência Fuzzy utilizado no processamento dos Indicadores mostrou-se eficaz na consideração simultânea de combinações simultâneas necessárias ao processamento de proposições entre variáveis. É ainda característica relevante das operações fuzzy a consideração de incertezas nas definições de classificação dos elementos envolvidos.

Ainda que os Indicadores aqui propostos, necessitem de maior investigação e análise para se consolidarem, a sua utilização e processamento pelo Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) mostraram-se adequados à proposição. Pois, com isto estabeleceu-se um sistema de avaliação da qualidade de base cartográfica, cuja

característica principal, e de relevância neste contexto, é a flexibilidade e simplicidade em sua estrutura de avaliação. O sistema possibilita avaliar a qualidade de bases cartográficas tanto para propósitos genéricos como para propósitos de uso específico, através da adequação dos atributos impostos aos parâmetros do modelo. Ainda, observa-se que mediante o estabelecimento destes Indicadores quantitativos, referentes à qualidade de dados espaciais, torna-se possível a automatização destes métodos, o que se constitui em importante auxílio para os usuários e produtores de dados espaciais.

A busca por mais conhecimentos relativos à quantificação de parâmetros avaliadores da qualidade dos dados espaciais, evidentemente, não se encerra aqui. Ao contrário, a partir deste trabalho, ficam evidenciadas diversas questões, de fundamental importância, que necessitam serem exploradas, para proporcionar o necessário controle e domínio da qualidade das informações espaciais.

10.2 RECOMENDAÇÕES

A realização deste trabalho evidenciou a necessidade de pesquisas em aspectos como os que se relacionam abaixo:

- a) desenvolver estudos detalhados de classificação dos valores de entrada ao modelo, para a consolidação dos Indicadores propostos neste trabalho;
- b) desenvolver os Indicadores de Precisão, Acuracidade e Legibilidade que complementam o Indicador da Qualidade de Mapeamento propostos no modelo deste trabalho;
- c) estabelecer critérios para Metadados de qualidade. Ou seja, critérios de armazenamento e transferência de dados sobre os dados espaciais produzidos. Os Metadados devem proporcionar o conhecimento dos métodos e precisão obtidos nas diferentes fases de produção dos dados espaciais, tal que os usuários destes dados possam, de modo fácil e rápido, conhecer com segurança estes parâmetros de mapeamento

- proporcionando-lhes maior segurança nas tomadas de decisões;
- d) desenvolver sistemas de automatização para direcionar qualitativamente a produção e uso de documentos cartográficos segundo os objetivos específicos de cada documento. A automatização destes processos, poderá contribuir significativamente para o uso mais adequado do potencial existente nas informações espaciais;
 - e) avaliar a real eficiência dos softwares em manipular sistemas de dados espaciais e a preservação da qualidade destes dados. As sofisticadas análises de dados espaciais possíveis através dos sistemas de informações computadorizadas poderão agregar recursos tanto para garantir a preservação da qualidade dos dados introduzidos como para produzir informações sobre a qualidade dos dados gerados por estes sistemas;
 - f) efetuar levantamentos relativos à qualidade dos dados geodésicos utilizados na confecção de documentos cartográficos, e desenvolver estudos para classificá-los relativamente aos referenciais geodésicos atuais. Providenciar aplicativos para viabilizar a utilização conjunta de dados procedentes de diferentes gerações geodésicas;
 - g) desenvolver levantamentos e aplicativos para se conhecer a qualidade dos dados fotogramétricos e de sensoriamento remoto de modo a permitir a combinação destes dados na geração de novos produtos cartográficos;
 - h) desenvolver métodos para diagnosticar a vida útil do mapa em função do processo de urbanização em aglomerados habitacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. 2^a. edição. Curitiba. SBEE, 2003.

ARRETCHE, M. T. S. **Crescimento Populacional e Taxas de Urbanização**. Disponível em <http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/eco> , acessado em 10/09/2004.

AZEVEDO, F. M., BRASIL, L. M., OLIVEIRA, R. C. L. **Redes Neurais – Com aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas**. Bookstore Livraria Ltda. Florianópolis – SC. 2000.

BURITY, E. F. & SÁ, L. A. C. M. de. Aspectos da Normalização em Dados Espaciais. In: COBRAC, 5^o., 2002, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis. 2002. CD-ROM.

BURITY, E. F.; BRITO, J. L. N. e S.; PHILIPS, J. Qualidade de Dados para o Mapeamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XIX, out/1999, Recife. **Anais**. Recife. 1999. CD-ROM.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press. 1998.

CÂMARA, G., MOREIRA, F. R., BARBOSA, C., ALMEIDA FILHO, R., BÖNISCH, S. Introdução à Ciência da Geoinformação. **Capítulo 9 – Técnicas de Inferência Geográfica**, p. 9.1 – 9.48. Disponível em www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap9_inferencia.pdf . Acessado em 27/04/2004.

CAPRIOLI, M.; SCOGNAMIGLIO, A.; STRISCIUGLIO, G.; TARANTINO, E. Rules and Standards for Spatial Data Quality in GIS Environments. In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE – ICC, 21., 2003, Durban. **Anais**. Durban, South Africa: ICC, 2003. 10-16. CD-ROM.

CEPROMAT – Centro de Processamento de dados do Estado de Mato Grosso. **Cuiabá registra maior índice de crescimento populacional do país**. Disponível em <http://www.cepromat.mt.gov.br/html/noticias/0704cuiaba.htm> , acessado em 10/09/2004.

CINTRA, J. P.; NERO, M. A. Documentos Cartográficos: Determinação do PEC. CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. XX, 2001, Porto Alegre. **Anais**. Rio de Janeiro, RJ: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001. CD-ROM.

CONCAR. **Manual de Normas Técnicas da Cartografia Brasileira**. Criado em 20/06/1984. Disponível em: <www.concar.ibge.gov.br> Acesso em: 2004.

COPEL. “Site” da Copel. Disponível em: <<http://www.copel.com/pagcopel.nsf>> Acesso em: out/2004.

DALAZOANA, R. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura adoção do SIRGAS**. Ciritiba, 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná.

DATASUS – Banco de Dados do Sistema Único de Saúde. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2000/fga03.htm> , acessado em: 10/09/2004.

DENT, B. D. **Principles of Thematic Map Design**. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1985.

EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. “Site” da Emplasa. Disponível em: <<http://www.emplasa.sp.gov.br>> Acesso em: 16 e 18/out/2004.

FNUAP- Fundos de População das Nações Unidas. Disponível em: www.fnuap.org.br/estrut/serv/arquivos/urbanizacao.pdf, acessado em 31/05/2004.

FREITAS, S. R. C de.; LAZZAROTTO, D, R.; ROBBI, C.; LUZ, R.T. Avaliação da Compatibilidade dos Sistemas Geodésicos de Referência no Brasil. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, v.10, n.2, p.225-239, jul./dez. 2004.

GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. **Elements of Spatial Data Quality**. International Cartographic Association – ICA. Pergamon, 1995.

IATROS – Estatística e Pesquisa Científica para Profissionais de Saúde. **Produzindo Informação e Conhecimento**. Última revisão: 28 mar. 2003. Disponível em: <<http://www.vademecum.com.br/iatros/informa.htm>> Acessado em 21 mai. 2003.

IBGE – **Relatório: Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, Julho, 1996.

IBGE – **Estimativas populacionais do Brasil Grandes Regiões, Unidades da Federação e municípios. Metodologia**. Rio de Janeiro. 2002.

IBGE – “Site” do IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.com.br>, acessado em 14/10/2004.

INETI- Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. In: **A Leitura das Cartas Geológicas - Noções Elementares sobre a Base Topográfica**. Disponível em: http://www.igm.ineti.pt/edicoes_online/diversos/cartas/capitulo6.htm Acesso em: mai/2005.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; FNUAP – Fundo de População das Nações Unidas. **Projeções de População por Sexo e Idade (1991 – 2020)**. 1999. <<http://www.pr.gov.br/ipardes/publicacoes/publicacoes.htm>>. Acesso em: set/2004.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM – 2000. Anotações sobre o Desenvolvimento do Paraná**. Curitiba. Jan./2003. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/ipardes/publicacoes/publicacoes.htm>>. Acesso em: set/2004.

KARNAUKHOVA, E., LOCH, C. - Alguns Problemas Atuais do Mapeamento Digital. Anais, XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. XX, 2001, Porto Alegre. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001. CD-ROM.

KEATES, J. S. **Cartographic Design and Production**. 1.ed. Longman, London and New York, 1973.

KLIR, G. J. & FOLGER, T. A. **Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information**. State University of New York, Binghamton. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632. 1988.

KOOSIS, D. J. **Elementos de Inferencia Estadística**. México: Limusa, 1974.

LEAL, E. V. **Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geomática – Universidade Federal do Paraná.

MATHWORKS. **MatLab 5.3. USER'S GUIDE**. Fuzzy Lógica Toolbox. 2000.

MIL-HDBK-850 – MILITARY HANDBOOK. **Glossary of Mapping, Charting, and Geodetic Terms**. Superseding. Glosxmcmgterms. Fourth Edition 1981. 21 January 1994.

MIRANDA, V. **Fundamentos de controlo difuso (fuzzy control)**. Texto básico para a disciplina 'Controlo Difuso e Redes Neurais, do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, DEEC – Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Portugal. 1998.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004.

MOORE, L. **The U.S. Geological Survey's Revision Program For 7,5-Minute Topographic Maps**. U.S. Geological Survey, Mid-Continent Mapping Center Rolla, Missouri. USA. 2000.

MOREIRA, F. R. S.; ALMEIDA FILHO, R.; CÂMARA, G. Aplicação da Abordagem de Importação Semântica (IS) para Caracterização de Contatos Litológicos em Modelos de Inferência Espacial. **Escola de Minas**, vol.55, no.4, Ouro Preto Oct./Dic. 2002.

MORRISON, J. L. Spatial data quality. In: GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. **Elements of Spatial Data Quality**. International Cartographic Association – ICA. Pergamon, 1995.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte. MG: Ed. da autora, 2003.

NCL – Numerical Cartography Lab Home Page. Spatial Data Standards Around the World. Disponível em <http://ncl.sbs.ohio-state.edu/ica/3_spatial.html> Acessado em: 20/07/2004.

NGDC – NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTERS. **“On – Precision in Geographic Information Systems”**. Revised: 21 Dec. 1997. Disponível em: <<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/tools/gis/precision.shtml>> Acessado em 29 abr. 2003.

ORTEGA, N.R.S. **Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina**. São Paulo, 2001. 152 f. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

QUEIROZ, G.A.F., TOZZI, C.L., LANGONE, F. **Avaliação Morfológica e Morfométrica de Axônios Mielínicos Utilizando Classificador Fuzzy**. UNICAMP, Campinas, SP. Disponível em: www.mirror.impa.br/sibgrapi97/anais> Acesso em: dez/2003.

RAGIA, L.; WINTER, S. Contributions to a Quality Description of Areal Objects in Spatial Data Sets. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. No.55, 201-213, 2000. Disponível em: <www.sciencedirect.com>, <www.capes.gov.br> Acessado em: 15 mai. 2003.

RAMIREZ, J. R.; ALI, T. Progress in Metrics Development to Measure Positional Accuracy of Spatial Data. INTERNATIONAL CARTOGRAFIC CONFERENCE (ICC), 21., 2003, Durban, South Africa. **Anais**. Durban: Document Transformation Technologies, 2003. 1763-1771.

RIBEIRO, C. Notícia disponível em <http://www.parana.com.br/view.htm?id=2568>, acessado em: 28/09/2004.

ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C.; KIMERLING, A. J.; GUPTILL, S. C. **Elements of Cartography**. 6.ed. New York: John Wiley & Sons, New York, 1995.

SIMLEY, J. Improving the Quality of Mass Produced Maps. **Cartography and Geographic Information Science**, Vol.28, No.2, 97-110, 2001.

SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY. **Cartographic Generalisation – Topographic Maps**. Cartographic Publication Series. Published by the Swiss Society of Cartography. No.2. 1979.

TRZESNIAK, P. Indicadores Quantitativos: Reflexões que Antecedem seu Estabelecimento. **Ci. Inf.**, Brasília. V.27, n.2, p.159-164, mai/ago 1998. Disponível em: www.ibict.br/cionline/270298/27029808.pdf Acessado em 21 set. 2002.

U.S. BUREAU OF THE BUDGET. **United States National Map Accuracy Standards**. Última revisão em: 17 jun. 1947. Disponível em: <http://rockyweb.cr.usgs.gov/nmpstds/nmas647.html>, Acesso em abr/2003.

UNDP – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório sobre o Desenvolvimento Humano no Brasil – 1996**. Capítulo 5. Disponível em <http://www.undp.org.br/HDR/Hdr96/rdhb5.htm>, acessado em 20 de set. de 2004.

UNL. Universidade Nova de Lisboa. Departamento de Ciência da Terra. **Modelo Digital de Terreno**. Disponível em: [www.dct.fct.unl.pt/Ensino/cursos/Disc/SRGG/SRGG_Cap5.pdf - Resultado suplementar](http://www.dct.fct.unl.pt/Ensino/cursos/Disc/SRGG/SRGG_Cap5.pdf-Resultado%20suplementar) Acesso em: 9/out/2002.

USGS - **Standards for Revised Primary Series Quadrangle Maps** – Part 2. Última revisão em: abr. 2001. Disponível em <http://www.usgs.gov/> Acessado em: 15 mai. 2003(a).

USGS – **Map Accuracy Standards**. (November 1999). Última revisão em: 31 dec. 2002. Disponível em <http://mac.usgs.gov/mac/isb/pubs/factsheets/fs17199.html> Acessado em: 19 mai. 2003(b).

USGS – Site da USGS. **Senior Management Overview**. Disponível em: <http://thor-f5.er.usgs.gov/sdts/articles/pdf/senmgr.pdf> Acesso em: 16 jul. 2004.

WEBER, E.; ANZOLCH, R.; LISBOA FILHO, J.; COSTA, A. C.; IOCHPE, C. **Qualidade de Dados Espaciais**: In: Relatório de Pesquisa. Órgãos financiadores RHA/E / CNPq. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Instituto de Informática do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 1999.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Set**. Information and Control. V.8, n.1, p.338-353, 1965.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

BARBARIOLI NETTO, E., SILVA, T. A. A. – Produção Cartográfica e Disponibilização de Produtos Digitais pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército – Ministério da Defesa / Exército Brasileiro / Secretaria de Tecnologia da Informação / Diretoria de Serviço Geográfico / 1ª Divisão de Levantamento. CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XX, 2001, Porto Alegre. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001. CD-ROM.

BREMAEKER, F.E.J. **Evolução da População Brasileira no Período 1996-2000**. IBAM. Rio de Janeiro. 2001.

BRISOLA, S. N. Indicadores para Apoio à Tomada de Decisão. **Ci. Inf.**, Brasília. V.27, n.2, p.221-225, mai/ago 1998. Disponível em: <www.ibict.br/cionline/270298/27029808.pdf> Acessado em 21 set. 2002.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems**. Chapman and Hall. New York. 1986.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo, Edgard Blucher, 1999.

CLARKE, D. G. & CLARK, D. M. Lineage. In: GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. **Elements of Spatial Data Quality**. International Cartographic Association – ICA, and Association Cartographique Internationale – ACI. Pergamon, 1995.

COLLEGE OF GEOCIENCES – Department of Geography. **Cartographic Data Sources: Ground Survey, GPS, Aerial Photography and Photogrammetry, Remote Sensing, and On-Line Digital Databases**. Última revisão em: 19 abr. 2003. Disponível em <<http://geog.tamu.edu/~liu/courses/g332/note7.pdf>> Acessado em 29 mar. 2003.

DENT, B. D. **Cartography Thematic Map Design**. McGraw-Hill, 1999.

DJH. UNIVERSITY OF COLORADO – DEPARTMENT OF GEOGRAPHY. **Calculating Cohen's Kappa**. Bolder, Colorado, USA. Revised on 18 October 1999. Disponível em: <www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/manerror/html/kappa.html> Acessado em 19 mai. 2003.

EDITORIAL. Theme Issue on Algorithms and Techniques for Multi-Source Data Fusion in Urban Areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. No.585, 1-3, 2003. Disponível em <www.capes.gov.br/> Acessado em: 15 mai. 2003.

FJP & IPEA. Definição e Metodologia de Cálculo dos Indicadores e Índices de Desenvolvimento Humano e Condições de Vida. IN: **ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL (1998)**. Pela Fundação João Pinheiro – FJP e Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA. Disponível em: <www.undp.org.br/HDR/HDR2000/metodologias%20-%20IDH-M%20e%20ICV.pdf> Acessado em: 05 out. 2002.

FREIRIA, N.T. **Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana Através de Indicadores – Caso especial – Cidade de Pinhais**. Curitiba, 2002. 230 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

GAMBA, P.; HELLWICH, O.; LOMBARDO, P. Theme issue on Algorithms and Techniques for Multi-Source Data Fusion in Urban Areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry &**

Remote Sensing, v.58 p.1-3. 2003.. Disponível em: <www.sciencedirect.com> (www.elsevier.com/locate/isprsjprs). Acessado em: 15 mai. 2003.

IBGE - Home Page. **Mapeamento Topográfico Sistemático**. Disponível em: <http://www1.ibge.gov.br/home/geografia/decar/mapeamento_topografico_sistematico.sht> Acessado em: 5 jun 2003.

INPE – Home Page. **Missão e Finalidade**. Última revisão: 28 mar. 2003. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/>> Acessado em 5 jun. 2003.(b)

INPE. “Site” do INPE. **Das Coisas Certas e Incertas**. Disponível em www.dpi.inpe.br?gilberto/infogeo/infogeo21.pdf . Acessado em janeiro de 2005.

IPARDES – Disponível em: <http://www.hidricos.mg.gov.br/ufparana/relprin1/tab52.htm> acessado em 17/10/2004.

JAKOBSSON, A.; MARTTINEN, J. Data Quality Management of reference Datasets – Present Practice in European National Mapping Agencies and a Proposal for a new Approach. INTERNATIONAL CARTOGRAFIC CONFERENCE (ICC), 21., 2003, Durban, South Africa. **Anais**. Durban: Document Transformation Technologies, 2003. 1748-1756. CD-ROM.

JOAQUIM, F. **Lógica (Fuzzy) Nebulosa**. Rio de Janeiro, 2001. Apostila (Notas de aula da disciplina Lógica Nebulosa) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Computação, Setor Geomática. Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

KRAAK, M. J. & ORMELING, F. J. **Cartography – Visualization of Spatial Data**. (1998). Addison Wesley Longman Limited, 1996.

LUCAREVSCHI, C. I., AVENA, R. C. S. – A Cartografia Rodoviária no DNER. UERJ Dep. Eng. Cartográfica, Rio de Janeiro. DNER - Instituto de Pesquisas Rodoviárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XX, 2001, Porto Alegre. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001. CD-ROM.

MARTINENKO, A. The Earth Knowledge Base: Methodology and Technology. INTERNATIONAL CARTOGRAFIC CONFERENCE (ICC), 21., 2003, Durban, South Africa. **Anais**. Durban: Document Transformation Technologies, 2003. 1801-1804. CD-ROM.

MOORE, L.; HARRIS, W.; KOCHIS, T. **Raster Image Warping for Geometric Correction of Cartographic Bases**. U.S. Geological Survey, Mid-Continent Mapping Center Rolla, Missouri. USA. Última revisão: 28 mar. 2003. Ago. 1999. Disponível em <<http://www.usgs.gov/>> Acesso em 15 mai. 2003.

NOAA – **Chaper 5. Quality Assurance and Control**. Última revisão: 27 jan. 2003. Disponível em <<http://www.csc.noaa.gov/crs/lca/clp5>> Acessado em: 12 mai.2003.

PEREIRA, K. D. Atualização da Legislação Cartográfica – Necessidade Nacional. COLOQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, III, 2003. Curitiba. **Anais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. CD-ROM.

PUCCINI, A. L. **Introdução à Programação Linear**. Rio de Janeiro. Ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1976.

RAMALHETE, M; GUERREIRO, J.; MAGALHÃES, A. **Programação Linear**. Ed. McGraw-Hill de Portugal. Lda. 1984.

STANDARD e METADATA GIS. Disponibilizado em:
<<http://www.gisform.it/GisLink/pstd.html>> Acesso em: 5 ago. 2004.

TEIXEIRA SILVA, I. F. – **Cartografia em Apoio Às Operações Censitárias Outros** >
Acessado em: 11 fev. 2003.

THE UNIVERSITY OF BIRMINGHAM. **Quantitative Methods and It (A B & C) – Management Science Component. Introductory Notes.** Disponível em:
<<http://www.bham.ac.uk/strathcona/Pdfs/Quantive Methods & management science component/ INTROITIF.PDF>> Acesso em dez/2003.

UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA – Department of Geography. **Unit 45 – Accuracy of Spatial Databases.** Última revisão: 30 ago. 1997. Disponível em
<<http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u45.html>>. Acessado em: 12 mai. 2003.

UNIVERSITY OF COLORADO. **An Example of Sensitivity Analysis.** Última revisão em: 18 out. 1999. Disponível em
<<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/manerror/html/sensitiv.html>> Acessado em 19 mai. 2003.

UNIVERSITY OF COLORADO. **Error, Accuracy, and Precision.** Disponível em:
<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/error/error_f.html> Acessado em 12 mai. 2003. Última revisão: 4 ago. 2002 (a).

UNIVERSITY OF COLORADO. **Managing Error.** Disponível em
<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/manerror/manerror_f.html> Acessado em 12 mai. 2003. Última revisão em: 4 out. 2002 (b).

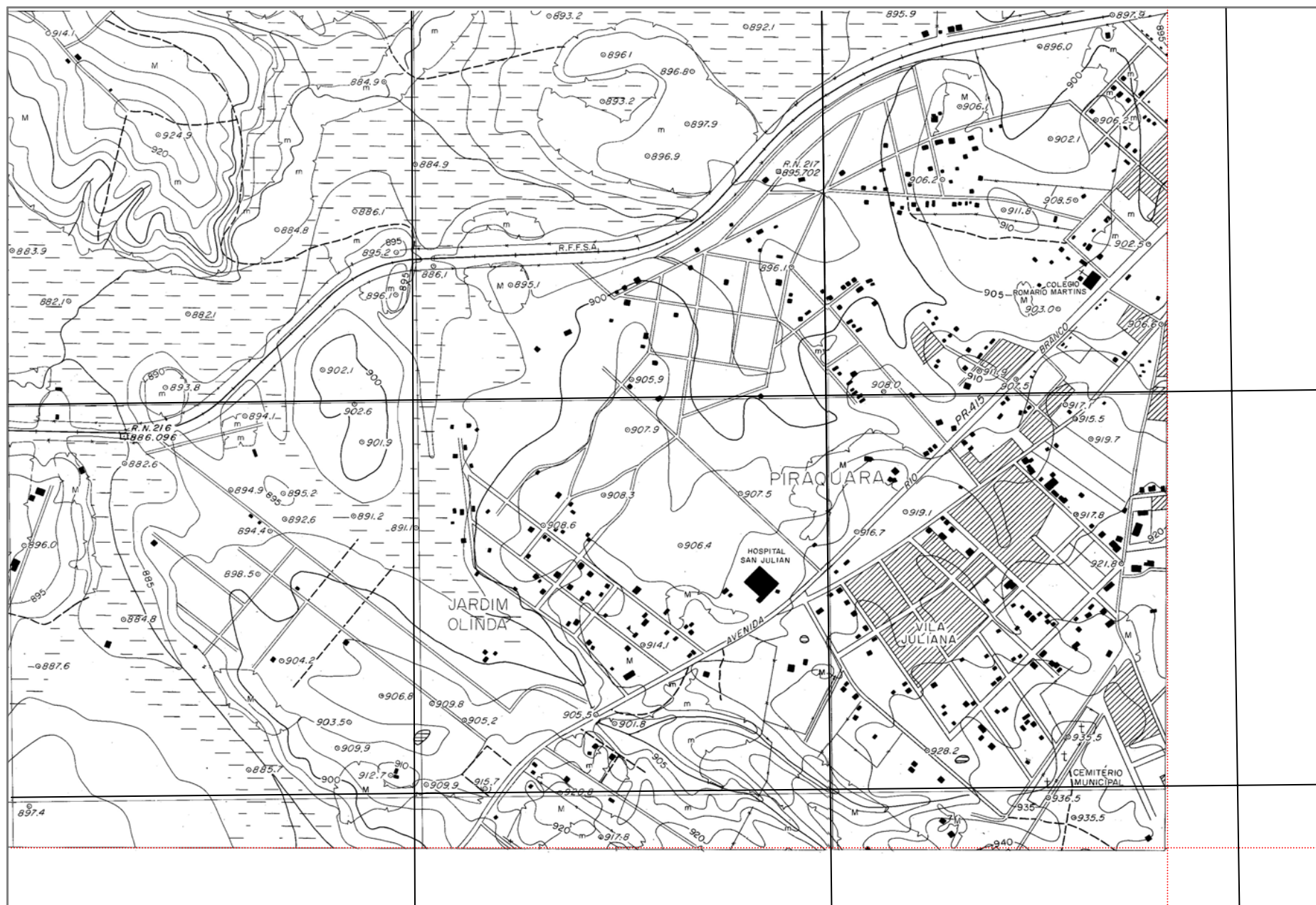
USGS – **National Mapping Program Standasds.** Última revisão em: 15 mai. 2003. Disponível em <<http://mapping.usgs.gov/standards/index.html>> Acessado em: 15 mai.2003.(a)

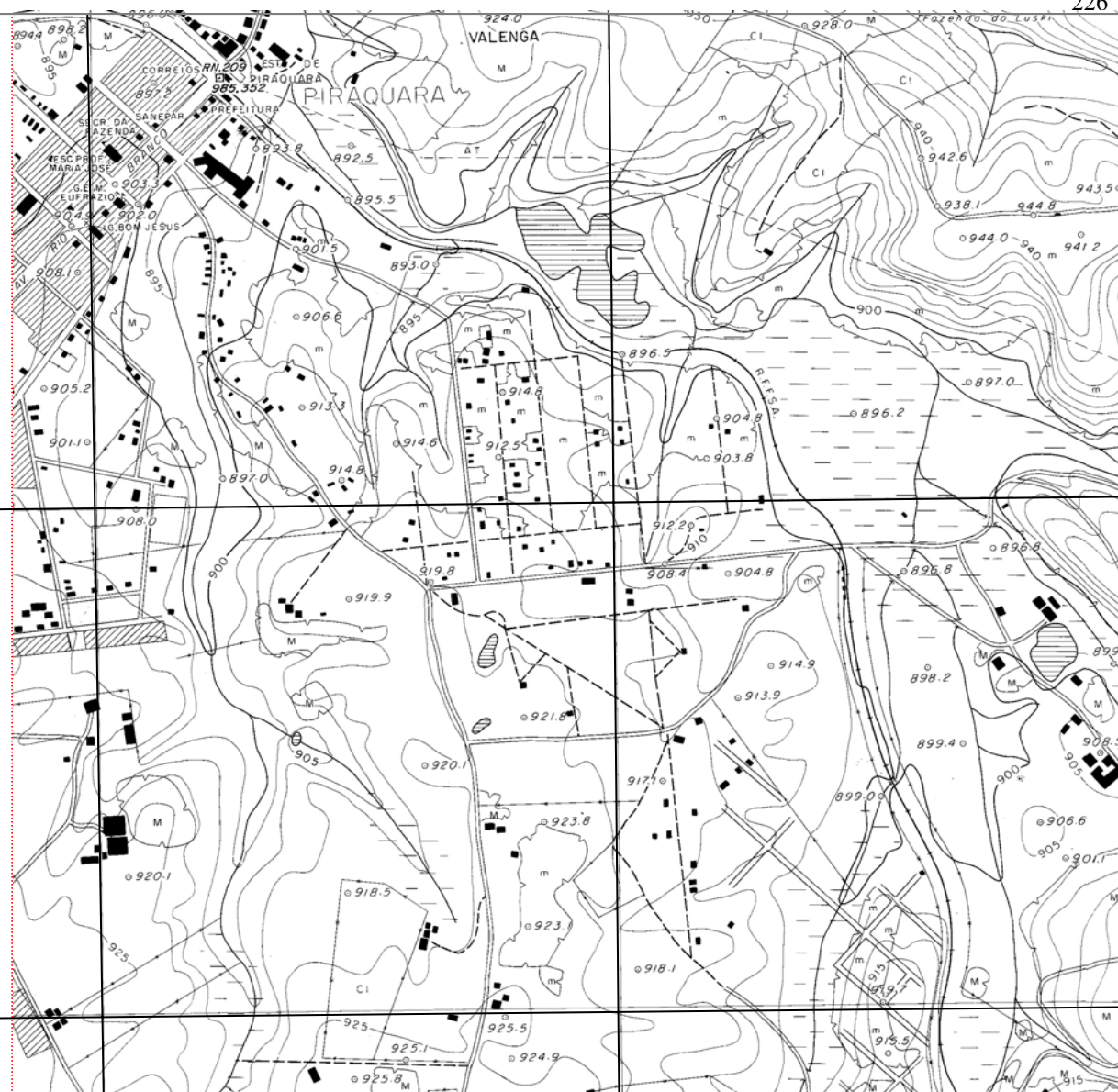
USGS – **Standards for Digital Elevation Models** – Part 3. 1992/1997. Diponível em
<<http://www.usgs.gov/>> Acessado em:15 mai. 2003. (b)

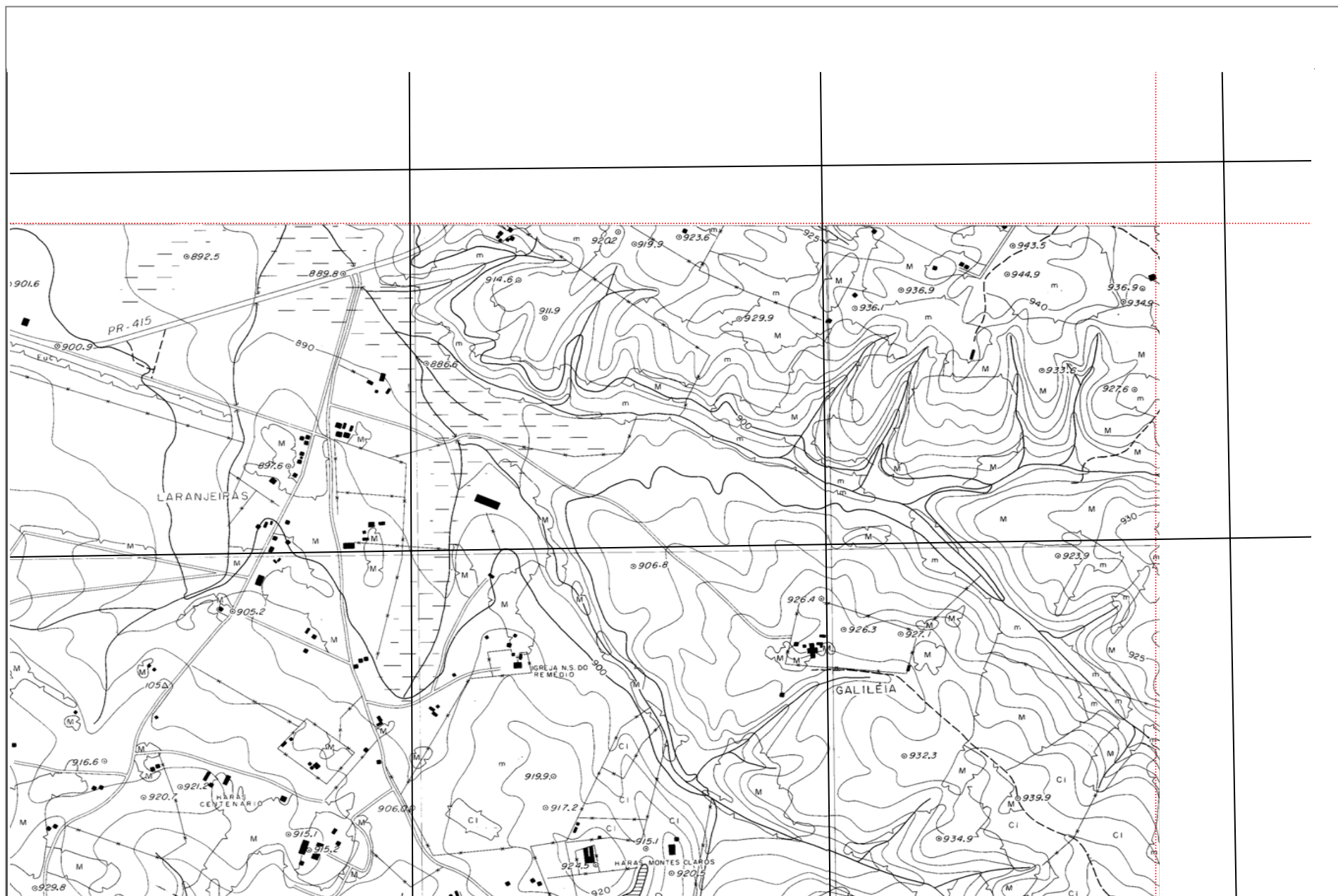
VERIGIN, H. & HARGITAI, P. An Evaluation Matrix for Geographical Data Quality. In: GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. **Elements of Spatial Data Quality.** International Cartographic Association – ICA, and Association Cartographique Internationale – ACI. Pergamon, 1995.

**ANEXO 1 – CARTAS NA ESCALA 1:10.000 DO ANO DE 1976 – REGIÃO DO
MUNICÍPIO DE PIRAQUARA**

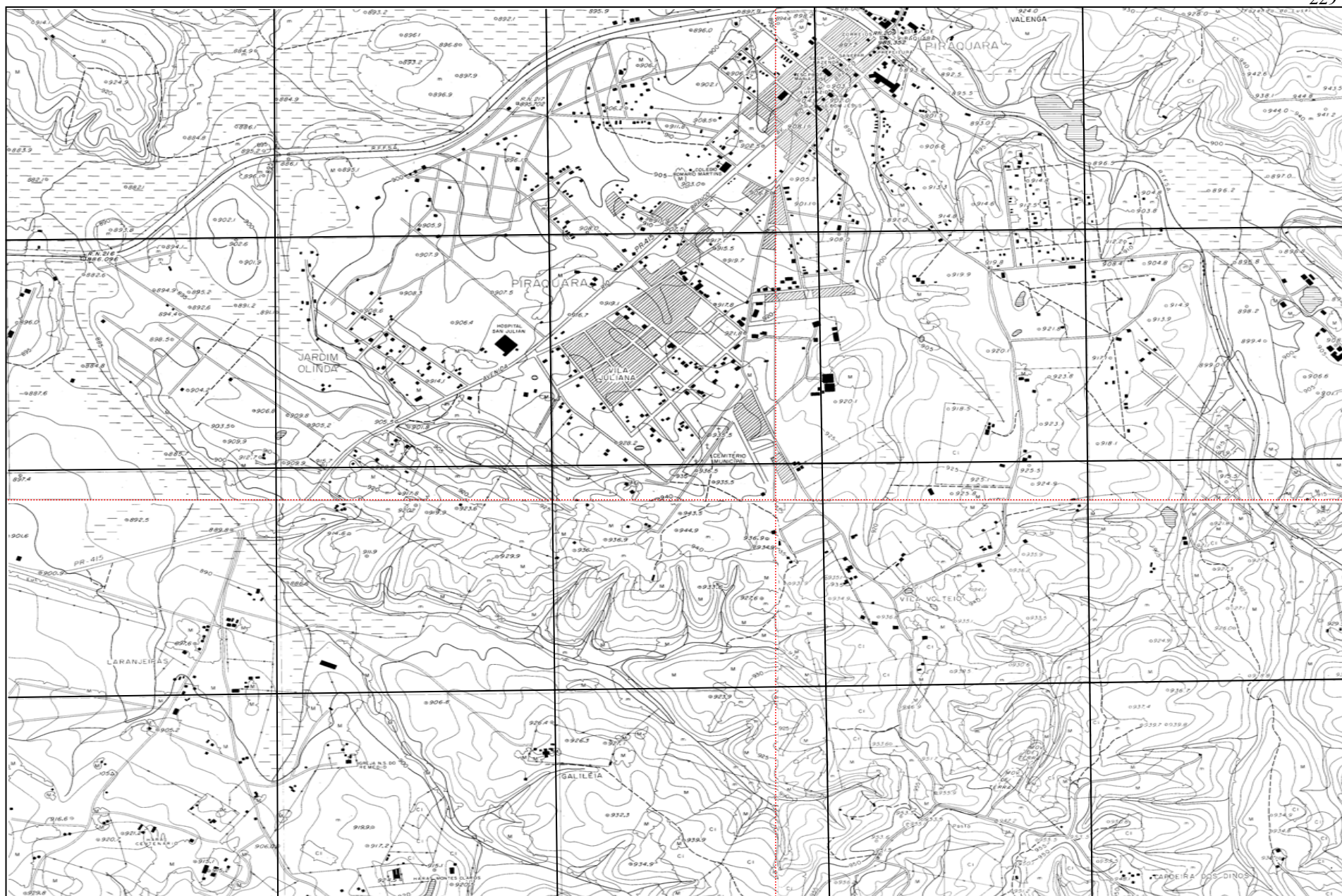
- Carta: 429;
- Carta 430;
- Carta 431;
- Carta 432;
- Cartas: 429, 430, 431 e 432.









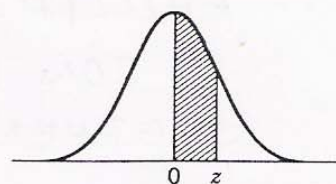


ANEXO 2 – TABELA CURVA DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL

FONTE: KOOSIS D. J. (1974)

TABLA IV AREAS BAJO LA CURVA DE LA DISTRIBUCION NORMAL

Una anotación de la tabla es la proporción bajo toda la curva que está entre $z = 0$ y un valor positivo de z . Las áreas para los valores negativos de z se obtienen por simetría.

Segundo lugar decimal de z

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2517	.2549
0.7	.2580	.2611	.2642	.2673	.2703	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990